

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2003-297727

(43)Date of publication of application : 17.10.2003

(51)Int.Cl.

H01L 21/027

G02B 19/00

G03F 7/20

(21)Application number : 2002-100852

(71)Applicant : NIKON CORP

(22)Date of filing : 03.04.2002

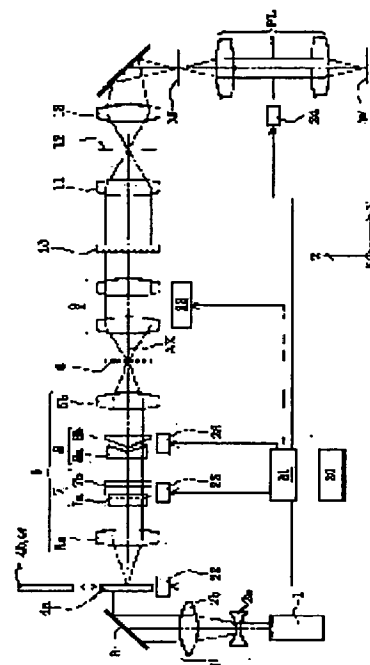
(72)Inventor : KANAYAMATANI NOBUMICHI

(54) ILLUMINATION OPTICAL DEVICE, EXPOSURE APPARATUS, AND METHOD OF EXPOSURE

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide an illumination optical device achieving illuminating conditions which are different in two intersecting directions on an emitted surface.

SOLUTION: The illumination optical device comprises a first axicon system (7) which is disposed in an optical path between a light source means (1) and an optical integrator (10) and a second axicon system (8) which is disposed in an optical path between the first axicon system and the optical integrator. The first axicon system has a first prism (7a) which moves at least along the optical axis, and a second prism (7b) which is fixed along the optical axis in this order starting from the side of the light source means. The second axicon system has a third prism (8a) which is fixed at least along the optical axis, and a fourth prism (8b) which moves along the optical axis in this order starting from the side of the light source means.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

*** NOTICES ***

JPO and NCIPi are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. **** shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

CLAIMS

[Claim(s)]

[Claim 1] In illumination-light study equipment equipped with the light guide optical system for leading the flux of light from the optical integrator and this optical integrator for forming the secondary light source based on the flux of light from a light source means to an irradiated plane The 1st axicon system for being arranged in the optical path between said light source means and said optical integrators, and changing at least one side of whenever [incident angle / of the incoming beams to said optical integrator], and an incidence location, It is arranged in the optical path between said 1st axicon systems and said optical integrators. It has the 2nd axicon system for changing at least one side of whenever [incident angle / of the incoming beams to said optical integrator], and an incidence location. Said 1st axicon system The 1st prism constituted movable in accordance with the optical axis sequentially from said light source means side at least, It is fixed in accordance with an optical axis, and has the 2nd prism which has the refracting interface of said 1st prism, and the refracting interface formed complementary. Said 2nd axicon system Illumination-light study equipment which is constituted movable and characterized by having the 4th prism which has the refracting interface of said 3rd prism, and the refracting interface formed complementary sequentially from said light source means side in accordance with the 3rd prism fixed in accordance with the optical axis at least, and an optical axis.

[Claim 2] Said 2nd prism and said 3rd prism are illumination-light study equipment according to claim 1 characterized by being formed in one.

[Claim 3] Said 1st prism has the refracting interface of a concave cross section, and said 2nd prism has the refracting interface of said concave cross section of said 1st prism, and the refracting interface of the convex cross section formed complementary. Said 3rd prism is illumination-light study equipment according to claim 1 or 2 which has the refracting interface of a concave cross section and is characterized by said 4th prism having the refracting interface of said concave cross section of said 3rd prism, and the refracting interface of the convex cross section formed complementary.

[Claim 4] It is illumination-light study equipment according to claim 3 which said 1st prism has the refracting interface of the shape of V character which has a ridgeline along the 1st direction which intersects perpendicularly with an optical axis, and is characterized by said 1st prism having the refracting interface of the shape of V character which has a ridgeline along an optical axis and said 1st direction, and the 2nd direction that intersects perpendicularly.

[Claim 5] It is illumination-light study equipment according to claim 3 which either said 1st prism or said 3rd prism has a conic refracting interface centering on an optical axis, and is characterized by another side of said 1st prism and said 3rd prism having the refracting interface of the shape of V character which has a ridgeline along the direction which intersects perpendicularly with an optical axis.

[Claim 6] The optical integrator for forming the secondary light source based on the flux of light from a light source means, The light guide optical system for leading the flux of light from said optical integrator to an irradiated plane, It is arranged in the optical path between said light source means and said optical integrators. It has an axicon system for changing at least one side of whenever [incident angle / of the incoming beams to said optical integrator], and an incidence location. Said axicon system It has the 2nd prism which has the refracting interface of the convex cross section of the shape of the refracting interface of the 1st prism which has the refracting interface of the concave cross section of the shape of the shape of a cone, and V character, and this 1st prism, the shape of a cone formed complementary, and V character. Said axicon system It corresponds to the ridgeline of the diameter of the shadow field of the circle configuration formed [near the lighting pupil] corresponding to the top-most vertices of said conic refracting interface, or the refracting interface of the shape of said V character. Illumination-light study equipment characterized by

having a necessary configuration and a necessary property for the width of face of the shadow field of the shape of a straight line formed carrying out to 1/10 or less [of the magnitude of the whole flux of light].
 [Claim 7] The flux of light sensing element for changing into the flux of light which has the flux of light or the optical predetermined intensity distribution which has a predetermined cross-section configuration for the flux of light from said light source means, The 1st optical system arranged in the optical path between said flux of light sensing elements and said optical integrators, It is illumination-light study equipment according to claim 6 which is further equipped with the 2nd optical system arranged in the optical path between said 1st optical system and said optical integrators, and is characterized by arranging said axicon system near said lighting pupil in the optical path of said 1st optical system.

[Claim 8] The maximum angle of diffraction of the diffracted-light study component as said flux of light sensing element is set to ψ_{\max} . Spacing in alignment with the optical axis of the refracting interface of said 1st prism and the refracting interface of said 2nd prism is set to L. The vertical angle of said conic refracting interface or the crossed axes angle of the refracting interface of the shape of said V character is set to 2θ . When the refractive index to said flux of light of the optical material which forms said 1st prism and said 2nd prism is set to n and the focal distance of the 1st lens group arranged rather than said axicon system of said 1st optical system at said light source means side is set to f_1 , $AL \leq (f_1 \sin \psi_{\max})/10$, however $A = (\tan \alpha \tan \theta) / (\tan \theta - \tan \alpha)$

$\alpha = \sin^{-1} (n \cos \theta) + \theta - 90$ (unit: degree)

Illumination-light study equipment according to claim 7 characterized by satisfying *****.

[Claim 9] The optical integrator for forming the secondary light source based on the flux of light from a light source means, The light guide optical system for leading the flux of light from said optical integrator to an irradiated plane, Illumination-light study equipment characterized by having the axicon system formed with the fluorite for being arranged in the optical path between said light source means and said optical integrators, and changing at least one side of whenever [incident angle / of the incoming beams to said optical integrator], and an incidence location.

[Claim 10] Said light source means is illumination-light study equipment according to claim 9 characterized by supplying the light which has the wavelength of 200nm or less.

[Claim 11] The 1st prism which has the refracting interface of the concave cross section of the shape of V character which has a ridgeline along the direction where an optical axis and said axicon system cross at right angles, It is illumination-light study equipment according to claim 9 or 10 which has the 2nd prism which has the refracting interface of said concave cross section of said 1st prism, and the refracting interface of the convex cross section of the shape of V character formed complementary, and is characterized by dividing said 1st prism along a field including an optical axis and said ridgeline.

[Claim 12] It is illumination-light study equipment which is equipped with the prism which has the refracting interface of the concave cross section of the shape of V character which has a ridgeline along a predetermined direction in the illumination-light study equipment which illuminates an irradiated plane based on the flux of light from a light source means, and is characterized by dividing said prism along a predetermined field including said ridgeline.

[Claim 13] The optical integrator for forming the secondary light source based on the flux of light from said light source means, The light guide optical system for leading the flux of light from said optical integrator to said irradiated plane, It is arranged in the optical path between said light source means and said optical integrators. Illumination-light study equipment according to claim 12 characterized by having further the axicon system containing said prism for changing at least one side of whenever [incident angle / of the incoming beams to said optical integrator], and an incidence location.

[Claim 14] It is illumination-light study equipment according to claim 13 which said axicon system has the 2nd prism which has the refracting interface of said concave cross section of said prism which has the refracting interface of the concave cross section of the shape of V character which has said ridgeline along the direction which intersects perpendicularly with an optical axis, and said prism, and the refracting interface of the convex cross section of the shape of V character formed complementary, and is characterized by to divide said prism along a field including an optical axis and said ridgeline.

[Claim 15] In order to form in a lighting pupil surface the secondary light source which has optical 4 pole-like intensity distribution based on the flux of light from a light source means in the illumination-light study equipment which illuminates an irradiated plane The flux of light sensing element for changing the flux of light from said light source means into the four flux of lights, It is arranged in the optical path between said flux of light sensing elements and said lighting pupil surfaces, and has an axicon system for moving symmetrically one pair of the four substantial surface light sources which constitute said secondary light

source, and the pair of another side on both sides of an optical axis. Said flux of light sensing element is illumination-light study equipment characterized by forming each of said four substantial surface light sources focusing on each intercardinal point of the rectangle prolonged long and slender along the 1st direction which intersects perpendicularly with an optical axis.

[Claim 16] The 1st prism which has the refracting interface of the V character-like concave cross section where said axicon system has a ridgeline along said 1st direction, The 1st axicon system which has the 2nd prism which has the refracting interface of said concave cross section of said 1st prism, and the refracting interface of the convex cross section of the shape of V character formed complementary, The 3rd prism which has the refracting interface of the concave cross section of the shape of V character which has a ridgeline along an optical axis and said 1st direction, and the 2nd direction that intersects perpendicularly, Illumination-light study equipment according to claim 15 characterized by having the 2nd axicon system which has the 4th prism which has the refracting interface of said concave cross section of said 3rd prism, and the refracting interface of the convex cross section of the shape of V character formed complementary.

[Claim 17] The aligner characterized by having illumination-light study equipment given in claim 1 thru/or any 1 term of 16, and the projection optics for carrying out projection exposure of the pattern of the mask arranged at said irradiated plane at a photosensitive substrate.

[Claim 18] The exposure approach which illuminates a mask through the illumination-light study equipment of a publication in claim 1 thru/or any 1 term of 16, and is characterized by carrying out projection exposure of the image of the pattern formed in said illuminated mask on a photosensitive substrate.

[Translation done.]

*** NOTICES ***

JPO and NCIPI are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.**** shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

DETAILED DESCRIPTION

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Field of the Invention] This invention relates to the suitable illumination-light study equipment for the aligner for manufacturing micro devices, such as a semiconductor device, an image sensor, a liquid crystal display component, and the thin film magnetic head, at a lithography process especially about the aligner equipped with illumination-light study equipment and this illumination-light study equipment.

[0002]

[Description of the Prior Art] In this kind of typical aligner, the flux of light injected from the light source forms the secondary light source as the substantial surface light source which consists of much light sources through the fly eye lens as an optical integrator. After the flux of light from the secondary light source is restricted through the aperture diaphragm arranged near the backside [a fly eye lens] focal plane, incidence of it is carried out to a condenser lens.

[0003] The flux of light condensed by the condenser lens illuminates in superposition the mask with which the predetermined pattern was formed. Image formation of the light which penetrated the pattern of a mask is carried out on a wafer through projection optics. In this way, on a wafer, projection exposure (imprint) of the mask pattern is carried out. In addition, it is indispensable to integrate highly the pattern formed in the mask and to imprint this detailed pattern correctly on a wafer to acquire uniform illumination distribution on a wafer.

[0004]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] Then, the secondary light source of a circle configuration is formed in a backside [a fly eye lens] focal plane, and the technique of changing the magnitude and changing the coherency sigma of lighting (sigma value = the pupil diameter of the diameter of an aperture diaphragm / projection optics or incidence side numerical aperture of the injection side numerical aperture / projection optics of a sigma value = illumination-light study system) attracts attention. Moreover, the secondary light source of the shape of the shape of zona orbicularis or 4 poles is formed in a backside [a fly eye lens] focal plane, and the technique of raising the depth of focus and resolution of projection optics attracts attention.

[0005] However, with the above conventional techniques, the case of the usual circular lighting based on the secondary light source of a circle configuration and the case of the deformation lighting (zona-orbicularis lighting and 4 pole lighting) based on the secondary light source of the shape of the shape of zona orbicularis or 4 poles have the cross-section configuration of the flux of light which carries out incidence to one on the mask which is an irradiated plane in the same physical relationship about two directions where it intersects perpendicularly on a mask. If it puts in another way, lighting conditions are the same in two directions in which it intersects perpendicularly on an irradiated plane with the conventional technique. Consequently, when directivity is in a mask pattern, the optimal lighting conditions cannot be realized in two directions in which it intersects perpendicularly on a mask.

[0006] This invention is made in view of the above-mentioned technical problem, and aims at offering the illumination-light study equipment which can realize lighting conditions which are mutually different in two directions in which it intersects perpendicularly on an irradiated plane. Moreover, this invention aims at offering the aligner and the exposure approach of setting up the optimal lighting conditions in two directions which intersect perpendicularly on the mask which has directivity in a pattern using the illumination-light study equipment which can realize mutually different lighting conditions in two directions in which it intersects perpendicularly on an irradiated plane.

[0007]

[Means for Solving the Problem] In order to solve said technical problem, in the 1st invention of this invention In illumination-light study equipment equipped with the light guide optical system for leading the flux of light from the optical integrator and this optical integrator for forming the secondary light source based on the flux of light from a light source means to an irradiated plane The 1st axicon system for being arranged in the optical path between said light source means and said optical integrators, and changing at least one side of whenever [incident angle / of the incoming beams to said optical integrator], and an incidence location, It is arranged in the optical path between said 1st axicon systems and said optical integrators. It has the 2nd axicon system for changing at least one side of whenever [incident angle / of the incoming beams to said optical integrator], and an incidence location. Said 1st axicon system The 1st prism constituted movable in accordance with the optical axis sequentially from said light source means side at least, It is fixed in accordance with an optical axis, and has the 2nd prism which has the refracting interface of said 1st prism, and the refracting interface formed complementary. Said 2nd axicon system The illumination-light study equipment which is constituted movable and characterized by having the 4th prism which has the refracting interface of said 3rd prism and the refracting interface formed complementary sequentially from said light source means side in accordance with the 3rd prism fixed in accordance with the optical axis at least and an optical axis is offered. In this case, said 2nd prism is fixed and, as for said 3rd prism, being fixed is desirable.

[0008] According to the desirable mode of the 1st invention, said 2nd prism and said 3rd prism are formed in one. Moreover, said 1st prism has the refracting interface of a concave cross section, said 2nd prism has the refracting interface of said concave cross section of said 1st prism, and the refracting interface of the convex cross section formed complementary, said 3rd prism has the refracting interface of a concave cross section, and, as for said 4th prism, it is desirable to have the refracting interface of said concave cross section of said 3rd prism and the refracting interface of the convex cross section formed complementary.

[0009] In this case, said 1st prism has the refracting interface of the shape of V character which has a ridgeline along the 1st direction which intersects perpendicularly with an optical axis, and, as for said 1st prism, it is desirable to have the refracting interface of the shape of V character which has a ridgeline along an optical axis and said 1st direction, and the 2nd direction that intersects perpendicularly. Or either said 1st prism or said 3rd prism has a conic refracting interface centering on an optical axis, and, as for another side of said 1st prism and said 3rd prism, it is desirable to have the refracting interface of the shape of V character which has a ridgeline along the direction which intersects perpendicularly with an optical axis.

[0010] The optical integrator for forming the secondary light source in the 2nd invention of this invention based on the flux of light from a light source means, The light guide optical system for leading the flux of light from said optical integrator to an irradiated plane, It is arranged in the optical path between said light source means and said optical integrators. It has an axicon system for changing at least one side of whenever [incident angle / of the incoming beams to said optical integrator], and an incidence location. Said axicon system It has the 2nd prism which has the refracting interface of the convex cross section of the shape of the refracting interface of the 1st prism which has the refracting interface of the concave cross section of the shape of the shape of a cone, and V character, and this 1st prism, the shape of a cone formed complementary, and V character. Said axicon system It corresponds to the ridgeline of the diameter of the shadow field of the circle configuration formed [near the lighting pupil] corresponding to the top-most vertices of said conic refracting interface, or the refracting interface of the shape of said V character. The illumination-light study equipment characterized by having a necessary configuration and a necessary property for the width of face of the shadow field of the shape of a straight line formed carrying out to 1/10 or less [of the magnitude of the whole flux of light] is offered.

[0011] The flux of light sensing element for changing into the flux of light which has the flux of light or the optical predetermined intensity distribution which has a predetermined cross-section configuration for the flux of light from said light source means according to the desirable mode of the 2nd invention, The 1st optical system arranged in the optical path between said flux of light sensing elements and said optical integrators, It has further the 2nd optical system arranged in the optical path between said 1st optical system and said optical integrators, and said axicon system is arranged near said lighting pupil in the optical path of said 1st optical system.

[0012] In this case, the maximum angle of diffraction of the diffracted-light study component as said flux of light sensing element is set to ψ_{\max} . Spacing in alignment with the optical axis of the refracting interface of said 1st prism and the refracting interface of said 2nd prism is set to L. The vertical angle of said conic refracting interface or the crossed axes angle of the refracting interface of the shape of said V character is set to 2θ . When the refractive index to said flux of light of the optical material which forms said 1st prism

and said 2nd prism is set to n and the focal distance of the 1st lens group arranged rather than said axicon system of said 1st optical system at said light source means side is set to f_1 , $AL \leq (f_1 \times \sin \theta_{\max})/10$, however $A = (\tan \alpha \times \tan \theta) / (\tan \theta - \tan \alpha)$

$\alpha = \sin^{-1}(n \times \cos \theta) + \theta - 90$ (unit: degree)

It is desirable to satisfy *****.

[0013] The optical integrator for forming the secondary light source in the 3rd invention of this invention based on the flux of light from a light source means, The light guide optical system for leading the flux of light from said optical integrator to an irradiated plane, It is arranged in the optical path between said light source means and said optical integrators. The illumination-light study equipment characterized by having the axicon system formed with the fluorite for changing at least one side of whenever [incident angle / of the incoming beams to said optical integrator], and an incidence location is offered.

[0014] According to the desirable mode of the 3rd invention, said light source means supplies the light which has the wavelength of 200nm or less. Moreover, said axicon system has the 2nd prism which has the refracting interface of said concave cross section of the 1st prism which has the refracting interface of the concave cross section of the shape of V character which has a ridgeline along the direction which intersects perpendicularly with an optical axis, and said 1st prism, and the refracting interface of the convex cross section of the shape of V character formed complementary, and, as for said 1st prism, it is desirable to be divided along a field including an optical axis and said ridgeline.

[0015] In the 4th invention of this invention, in the illumination-light study equipment which illuminates an irradiated plane based on the flux of light from a light source means, it has the prism which has the refracting interface of the concave cross section of the shape of V character which has a ridgeline along a predetermined direction, and the illumination-light study equipment characterized by dividing said prism along a predetermined field including said ridgeline is offered.

[0016] The optical integrator for forming the secondary light source based on the flux of light from said light source means according to the desirable mode of the 4th invention, The light guide optical system for leading the flux of light from said optical integrator to said irradiated plane, It has been arranged in the optical path between said light source means and said optical integrators, and has further the axicon system containing said prism for changing at least one side of whenever [incident angle / of the incoming beams to said optical integrator], and an incidence location. In this case, said axicon system has the 2nd prism which has the refracting interface of said concave cross section of said prism which has the refracting interface of the concave cross section of the shape of V character which has said ridgeline along the direction which intersects perpendicularly with an optical axis, and said prism, and the refracting interface of the convex cross section of the shape of V character formed complementary, and, as for said prism, it is desirable to be divided along a field including an optical axis and said ridgeline.

[0017] In the 5th invention of this invention, in the illumination-light study equipment which illuminates an irradiated plane, in order to form in a lighting pupil surface the secondary light source which has optical 4 pole-like intensity distribution based on the flux of light from a light source means The flux of light sensing element for changing the flux of light from said light source means into the four flux of lights, It is arranged in the optical path between said flux of light sensing elements and said lighting pupil surfaces, and has an axicon system for moving symmetrically one pair of the four substantial surface light sources which constitute said secondary light source, and the pair of another side on both sides of an optical axis. The illumination-light study equipment characterized by said flux of light sensing element forming each of said four substantial surface light sources focusing on each intercardinal point of the rectangle prolonged long and slender along the 1st direction which intersects perpendicularly with an optical axis is offered.

[0018] According to the desirable mode of the 5th invention, said axicon system The 1st prism which has the refracting interface of the concave cross section of the shape of V character which has a ridgeline along said 1st direction, The 1st axicon system which has the 2nd prism which has the refracting interface of said concave cross section of said 1st prism, and the refracting interface of the convex cross section of the shape of V character formed complementary, The 3rd prism which has the refracting interface of the concave cross section of the shape of V character which has a ridgeline along an optical axis and said 1st direction, and the 2nd direction that intersects perpendicularly, It has the 2nd axicon system which has the 4th prism which has the refracting interface of said concave cross section of said 3rd prism, and the refracting interface of the convex cross section of the shape of V character formed complementary.

[0019] In the 6th invention of this invention, the aligner characterized by having the illumination-light study equipment of the 1st invention - the 5th invention and the projection optics for carrying out projection exposure of the pattern of the mask arranged at said irradiated plane at a photosensitive substrate is offered.

[0020] In the 7th invention of this invention, a mask is illuminated through the illumination-light study equipment of the 1st invention - the 5th invention, and the exposure approach characterized by carrying out projection exposure of the image of the pattern formed in said illuminated mask on a photosensitive substrate is offered.

[0021]

[Embodiment of the Invention] If this invention is caused like 1 voice, the 1st axicon system has the 1st prism constituted movable in accordance with the optical axis, and the 2nd prism fixed in accordance with the optical axis, and the 2nd axicon system has the 3rd prism fixed in accordance with the optical axis, and the 4th prism constituted movable in accordance with the optical axis. If it puts in another way, two prism arranged outside among four prism which constitutes the 1st axicon system and the 2nd axicon system is constituted movable in accordance with an optical axis, and two prism arranged inside is being fixed in accordance with the optical axis.

[0022] Consequently, in this invention, since spacing of the 1st migration device for moving the 1st prism in accordance with an optical axis and the 2nd migration device for moving the 4th prism in accordance with an optical axis is secured greatly enough, a mechanical interference of migration devices can be avoided certainly, as a result a compact whole configuration can be realized. In addition, it is desirable to form in one two prism of the inside fixed in accordance with the optical axis in this case as one prism. By this configuration, while raising the permeability of the light in an axicon system, the manufacture error and locational error of a prism member can be stopped, as a result a highly efficient axicon system can be realized with high degree of accuracy.

[0023] If it depends like 1 voice, an axicon system has 1st prism with another this invention which has the refracting interface of the concave cross section of the shape of the shape of a cone, and V character, and the 2nd prism which has the refracting interface of the convex cross section of the shape of the shape of a cone, and V character. And an axicon system has a necessary configuration and a necessary property for the width of face of the shadow field of the shape of a straight line formed corresponding to the ridgeline of the diameter of the shadow field of the circle configuration formed [near the lighting pupil] corresponding to the top-most vertices of a conic refracting interface or a V character-like refracting interface to carry out to 1/10 or less [of the magnitude of the whole flux of light]. Consequently, in this invention, desired optical intensity distribution can be acquired in a lighting pupil, without being substantially influenced of a straight-line-like shadow field or the shadow field of a circle configuration.

[0024] Also in which mode, with the illumination-light study equipment of this invention, the secondary light source of the shape of the shape of 4 poles or zona orbicularis can be suitably changed according to an operation of an axicon system, and lighting conditions which are mutually different in two directions in which it intersects perpendicularly on an irradiated plane can be realized. Moreover, the optimal lighting conditions can be set up in two directions in which it intersects perpendicularly on the mask which has directivity in a pattern by the aligner and the exposure approach of this invention using the illumination-light study equipment which can realize mutually different lighting conditions in two directions in which it intersects perpendicularly on an irradiated plane, and a good micro device can be manufactured under good lighting conditions.

[0025] The operation gestalt of this invention is explained based on an accompanying drawing. Drawing 1 is drawing showing roughly the configuration of the aligner equipped with the illumination-light study equipment concerning the 1st operation gestalt of this invention. In drawing 1, the X-axis is set [the Z-axis] up in the direction perpendicular to the space of drawing 1 for the Y-axis in a wafer side in the direction parallel to the space of drawing 1 in a wafer side along the direction of a normal of the wafer which is a photosensitive substrate, respectively. In addition, in drawing 1, it is set up so that illumination-light study equipment may perform 4 pole lighting.

[0026] The aligner of drawing 1 is equipped with the ArF excimer laser which supplies light with a KrF excimer laser which supplies light with a wavelength of 248nm, or a wavelength of 193nm as the light source 1 for supplying exposure light (illumination light). It has the rectangle-like cross section which was injected along with the Z direction from the light source 1 and where the parallel flux of light was mostly prolonged long and slender along the direction of X, and incidence is carried out to the beam expander 2 which consists of lens 2a of a pair, and 2b. Each lens 2a and 2b have negative refractive power and forward refractive power in the space of drawing 1 (inside of YZ flat surface), respectively. Therefore, the flux of light which carried out incidence to the beam expander 2 is expanded in the space of drawing 1, and is orthopedically operated by the flux of light which has the cross section of the shape of a predetermined rectangle.

[0027] After the almost parallel flux of light through the beam expander 2 as plastic surgery optical system is deflected in the direction of Y by the bending mirror 3, incidence of it is carried out to diffracted-light study component (DOE) 4a for 4 pole lighting. Generally, a diffracted-light study component is constituted by forming the level difference which has the pitch of wavelength extent of exposure light (illumination light) in a glass substrate, and has the operation which diffracts an incident beam at a desired include angle. When the parallel flux of light which has a rectangle-like cross section carries out incidence of the diffracted-light study component 4a, it has the function which forms optical 4 pole-like intensity distribution in the far field (Fraunhofer diffraction field). Thus, diffracted-light study component 4a constitutes the flux of light sensing element for changing the flux of light from the light source 1 into the 4 pole-like flux of light.

[0028] in addition -- the diffracted light -- study -- a component -- four -- a -- the illumination light -- a way -- receiving -- insertion and detachment -- free -- constituting -- having -- the zona orbicularis -- lighting -- ** -- the diffracted light -- study -- a component -- four -- a -- usually -- circular -- lighting -- ** -- the diffracted light -- study -- a component -- four -- c -- a switch -- possible -- constituting -- having -- **** . About the configuration of diffracted-light study component 4b for zona-orbicularis lighting, and diffracted-light study component 4 usually for circular lighting c, and an operation, it mentions later. Specifically, diffracted-light study component 4a is supported on the turret substrate (rotor plate : drawing 1 un-illustrating) pivotable to the circumference of a predetermined axis parallel to an optical axis AX. Diffracted-light study component 4a for two or more 4 pole lighting from which a property differs, diffracted-light study component 4b for two or more zona-orbicularis lighting from which a property differs, and diffracted-light study component 4c for two or more circular lighting from which a property differs are prepared in the turret substrate along with the circumferencial direction.

[0029] Moreover, the turret substrate is constituted pivotable through the central point at the circumference of an axis parallel to an optical axis AX. Therefore, the diffracted-light study component of the request chosen from many diffracted-light study components 4a-4c can be positioned all over an illumination-light way by rotating a turret substrate. In addition, rotation (as a result, switch between diffracted-light study component 4a, and 4b and 4c) of a turret substrate is performed by the 1st drive system 22 which operates based on the command from a control system 21. However, a well-known slide method can also perform the switch between diffracted-light study component 4a, and 4b and 4c, for example, without being limited to a turret method.

[0030] Incidence of the flux of light through diffracted-light study component 4a is carried out to an afocal lens (relay optical system: the 1st optical system) 5. An afocal lens 5 is the afocal system (non-focal optical system) set up so that the location of the predetermined side 6 which a before side focal location and the location of diffracted-light study component 4a are mostly in agreement, and is shown by the after that side focal location and the drawing destructive line might be mostly in agreement. Therefore, mostly, after [which carried out incidence to diffracted-light study component 4a] the parallel flux of light forms optical 4 pole-like intensity distribution in the pupil surface of an afocal lens 5, it turns into the parallel flux of light mostly, and is injected from an afocal lens 5.

[0031] In addition, although the 1st V groove axicon system 7 and the 2nd V groove axicon system 8 are arranged sequentially from the light source side in the optical path between before [an afocal lens 5] side lens group (1st lens group) 5a, and backside lens group (2nd lens group) 5b, about the detailed configuration and detailed operation, it mentions later. Hereafter, in order to simplify explanation, an operation of these axicon systems 7 and 8 is disregarded, and the fundamental configuration and fundamental operation of the 1st operation gestalt are explained.

[0032] Incidence of the flux of light through an afocal lens 5 is carried out to the micro-lens array (or fly eye lens) 10 as an optical integrator through the zoom lens 9 for sigma value adjustable (variable-power optical system: the 2nd optical system). The micro-lens array 10 is an optical element which consists of a microlens which has the forward refractive power of a large number arranged in all directions and densely. Generally, a micro-lens array is constituted by performing etching processing to for example, an parallel flat-surface glass plate, and forming a microlens group.

[0033] Here, each microlens which constitutes a micro-lens array is minuter than each lens element which constitutes a fly eye lens. Moreover, unlike the fly eye lens which consists of a lens element isolated mutually, the micro-lens array is formed in one, without isolating many microlenses mutually. However, the micro-lens array is the same as a fly eye lens at the point that the lens element which has forward refractive power is arranged in all directions. In addition, there are also very few twists and the number of the microlenses which constitute the micro-lens array 10 for clear-izing of a drawing is actually expressed with

drawing 1 .

[0034] In addition, when set magnitude (diameter) of the pupil of projection optics PL to R1, magnitude (diameter) of the illumination-light bundle formed in the pupil of projection optics PL or a light source image is set to R2, the numerical aperture by the side of the mask (reticle) M of projection optics PL is set to NAO and the numerical aperture of the illumination-light study system which illuminates Mask (reticle) M is set to NAI, it is defined as a sigma value as $\sigma = NAI/NAO = R2 / R1$.

[0035] However, in zona-orbicularis lighting, R2 is the outer diameter of the illumination-light bundle of the shape of zona orbicularis formed in the pupil of projection optics PL, or a zona-orbicularis-like light source image, and NAI is numerical aperture defined with the outer diameter of the zona-orbicularis flux of light formed in the pupil of an illumination-light study system. Moreover, in multi-electrode lighting, such as 4 pole lighting, R2 is the magnitude or the diameter of a circle circumscribed to the multipolar illumination-light bundle formed in the pupil of projection optics PL, or a multipolar light source image, and NAI is numerical aperture defined with the magnitude or the diameter of a circle circumscribed to the multipolar illumination-light bundle formed in the pupil of an illumination-light study system. Moreover, when setting the bore of the illumination-light bundle of the shape of Ro and zona orbicularis to Ri for the outer diameter of a zona-orbicularis-like illumination-light bundle with a zona-orbicularis ratio in zona-orbicularis lighting, it defines as Ri/Ro.

[0036] In addition, the location of the predetermined side 6 is arranged near the before [a zoom lens 9] side focal location, and the plane of incidence of the micro-lens array 10 is arranged near the backside [a zoom lens 9] focal location. If it puts in another way, the zoom lens 9 will have arranged substantially the predetermined side 6 and the plane of incidence of the micro-lens array 10 in the relation of the Fourier transform, as a result will arrange optically the pupil surface of an afocal lens 5, and the plane of incidence of the micro-lens array 10 to conjugate mostly. Therefore, on the plane of incidence of the micro-lens array 10, the radiation field of the shape of 4 poles which consists of four radiation fields which carried out eccentricity to the optical axis AX as well as [for example,] the pupil surface of an afocal lens 5 is formed.

[0037] Here, although it depends on the property of diffracted-light study component 4a for the configuration of each radiation field which constitutes a 4 pole-like radiation field, the radiation field of the shape of 4 poles which consists of a radiation field of four circle configurations here shall be formed. The whole radiation field configuration of the shape of these 4 poles changes in similarity depending on the focal distance of a zoom lens 9. In addition, change of the focal distance of a zoom lens 7 is performed by the 2nd drive system 23 which operates based on the command from a control system 21.

[0038] Each microlens which constitutes the micro-lens array 10 has the cross section of the shape of a rectangle [**** / the configuration (as a result, configuration of the exposure field which should be formed on Wafer W) of the radiation field which should be formed on Mask M]. The flux of light which carried out incidence to the micro-lens array 10 is divided by many microlenses two-dimensional. In this way, in an after that side focal plane (as a result, pupil of an illumination-light study system) As shown in drawing 2 , the secondary light source of the shape of 4 poles which consists of the secondary light source which has the almost same optical intensity distribution as the radiation field formed of the incoming beams to the micro-lens array 10, i.e., the substantial surface light source of four circle configurations which carried out eccentricity to the optical axis AX, is formed. Thus, the micro-lens array 10 constitutes the optical integrator for forming the a large number light source based on the flux of light from the light source 1.

[0039] The flux of light from the secondary light source of the shape of 4 poles formed in the backside [the micro-lens array 10] focal plane illuminates the mask blind 12 as a lighting field diaphragm in superposition, after receiving a condensing operation of the capacitor optical system 11. The flux of light through opening (light transmission section) of the shape of a rectangle of the mask blind 12 illuminates Mask M in superposition, after receiving a condensing operation of the image formation optical system 13. The flux of light which penetrated the pattern of Mask M forms the image of a mask pattern on Wafer W through projection optics PL. The adjustable aperture diaphragm for specifying the numerical aperture of projection optics PL is prepared in the entrance pupil side of projection optics PL, and the drive of this adjustable aperture diaphragm is performed by the 3rd drive system 24 which operates based on the command from a control system 21.

[0040] In this way, the pattern of Mask M is serially exposed by each exposure field of Wafer W by performing one-shot exposure or scanning exposure, carrying out drive control of the wafer W two-dimensional into the flat surface (XY flat surface) which intersects perpendicularly with the optical axis AX of projection optics PL. In addition, in one-shot exposure, a mask pattern is exposed in package to each exposure field of a wafer according to the so-called step-and-repeat method. In this case, the configuration

of the lighting field on Mask M has the shape of a rectangle near a square, and turns into the shape of a rectangle also with the cross-section configuration of each microlens of the micro-lens array 10 near a square.

[0041] On the other hand, in scanning exposure, scanning exposure of the mask pattern is carried out to each exposure field of a wafer according to so-called step - and - scanning method, making a mask and a wafer displaced relatively to projection optics. In this case, the ratio of a shorter side and a long side has the shape of a rectangle of 1:3, and the configuration of the lighting field on Mask M turns into the shape of a rectangle [**** / the cross-section configuration of each microlens of the micro-lens array 10 / this].

[0042] Drawing 3 is the perspective view showing roughly the configuration of two axicon systems arranged in the 1st operation gestalt in the optical path between a before [an afocal lens] side lens group, and a backside lens group. With the 1st operation gestalt, as shown in drawing 3 , the 1st V groove axicon system 7 and the 2nd V groove axicon system 8 are arranged sequentially from the light source side in the optical path between before [an afocal lens 5] side lens group 5a, and backside lens group 5b.

[0043] the 1st V groove axicon system 7 -- a light source side -- a flat surface -- turning -- and a mask side -- a concave -- and 1st prism member 7a which turned the V character-like refracting interface and a mask side -- a flat surface -- turning -- and a light source side -- convex -- and it consists of 2nd prism member 7b which turned the V character-like refracting interface. The concave refracting interface of 1st prism member 7a consisted of two flat surfaces, and the intersection (ridgeline) is prolonged along with the Z direction. If the convex refracting interface of 2nd prism member 7b is put in another way so that it can contact as mutually as the concave refracting interface of 1st prism member 7a, it is formed complementary with the concave refracting interface of 1st prism member 7a.

[0044] That is, the convex refracting interface of 2nd prism member 7b also consisted of two flat surfaces, and the intersection (ridgeline) is prolonged along with the Z direction. Moreover, 1st prism member 7a is constituted movable in accordance with an optical axis AX, 2nd prism member 7b is fixed in accordance with an optical axis AX, and spacing of the concave refracting interface of 1st prism member 7a and the convex refracting interface of 2nd prism member 7b is constituted by adjustable. Change of spacing of the 1st V groove axicon system 7 is performed by the 4th drive system 25 which operates based on the command from a control system 21.

[0045] Moreover, the 2nd V groove axicon system 8 consists of 2nd prism member 8b which turned the flat surface to 1st prism member 8a which turned the flat surface to the light source side, and turned the V character-like refracting interface to the mask side by the concave, and a mask side, and is convex and turned the V character-like refracting interface to the light source side. The concave refracting interface of 1st prism member 8a consisted of two flat surfaces, and the intersection is prolonged along the direction of X. The convex refracting interface of 2nd prism member 8b is formed as complementary as the concave refracting interface of 1st prism member 8a. That is, the convex refracting interface of 2nd prism member 8b also consisted of two flat surfaces, and the intersection is prolonged along the direction of X.

[0046] Moreover, 1st prism member 8a is fixed in accordance with an optical axis AX, 2nd prism member 8b is constituted movable in accordance with an optical axis AX, and spacing of the concave refracting interface of 1st prism member 8a and the convex refracting interface of 2nd prism member 8b is constituted by adjustable. Change of spacing of the 2nd V groove axicon system 8 is performed by the 5th drive system 26 which operates based on the command from a control system 21.

[0047] Here, in the condition that the concave refracting interface and convex refracting interface which counter have contacted mutually, the 1st V groove axicon system 7 and the 2nd V groove axicon system 8 function as a plane-parallel plate, and there is no effect affect the secondary light source of the shape of 4 poles formed. However, although the 1st V groove axicon system 7 will function as a plane-parallel plate along with a Z direction if it makes a concave refracting interface and a convex refracting interface estrange, it functions as a beam expander along the direction of X. Moreover, although the 2nd V groove axicon system 8 will function as a plane-parallel plate along the direction of X if it makes a concave refracting interface and a convex refracting interface estrange, it functions as a beam expander along with a Z direction.

[0048] Drawing 4 is drawing explaining an operation of the zoom lens to the secondary light source formed in 4 pole lighting of the 1st operation gestalt. With 4 pole lighting of the 1st operation gestalt, change of the focal distance of a zoom lens 9 changes in similarity the whole secondary light source configuration of the shape of 4 poles which consists of the surface light sources 42a-42d of four circle configurations. That is, each surface light sources 42a-42d of the circle configuration which constitutes the secondary 4 pole-like light source move along the direction of a path of the circle centering on an optical axis AX, with a circle

configuration maintained.

[0049] And the segment which connects the surface light sources [before change / each / 42a-42d] central point and the each surface light sources [after change / 43a-43d] central point passes along an optical axis AX, and it depends for the migration length of the central point, and the sense of migration on change of the focal distance of a zoom lens 9. Moreover, the include angle which expects each surface light sources 42a-42d before change from an optical axis AX, and the include angle which expects each surface light sources 43a-43d after change from an optical axis AX are equal. In this way, only the outer diameter (diameter of circle circumscribed to the four surface light sources) can be changed by changing the focal distance of a zoom lens 9, without changing the zona-orbicularis ratio (diameter of circle circumscribed to the diameter of circle / four surface light sources which are inscribed in the four surface light sources) of the secondary 4 pole-like light source.

[0050] Drawing 5 is drawing explaining an operation of the 1st V groove axicon system to the secondary light source formed in 4 pole lighting of the 1st operation gestalt, and the 2nd V groove axicon system. Although whenever [in alignment with the Z direction of the incoming beams to the predetermined side 6 / incident angle] does not change with change of spacing of the 1st V groove axicon system 7, whenever [incident angle / which met in the direction of X of the incoming beams to the predetermined side 6] changes. Consequently, as shown in drawing 5 (a), although the surface light sources 44a-44d of four circle configurations do not move to a Z direction, they move to the symmetry on both sides of an optical axis AX along the direction of X, with the configuration and magnitude maintained. Namely, if spacing of the 1st V groove axicon system 7 is expanded, the surface light sources 44b and 44c will move in the direction of -X, and will move the surface light sources 44a and 44d in the direction of +X.

[0051] On the other hand, although whenever [incident angle / which met in the direction of X of the incoming beams to the predetermined side 6] does not change with change of spacing of the 2nd V groove axicon system 8, whenever [in alignment with the Z direction of the incoming beams to the predetermined side 6 / incident angle] changes. Consequently, as shown in drawing 5 (b), although the surface light sources 44a-44d of four circle configurations do not move in the direction of X, they move to the symmetry on both sides of an optical axis AX along with a Z direction, with the configuration and magnitude maintained. That is, if spacing of the 2nd V groove axicon system 8 is expanded, the surface light sources 44a and 44b will move to + Z direction, and will move the surface light sources 44c and 44d to - Z direction.

[0052] Furthermore, change of both spacing of the 1st V groove axicon system 7 and spacing of the 2nd V groove axicon system 8 changes whenever [in alignment with whenever / incident angle / which met in the direction of X of the incoming beams to the predetermined side 6 / and, a Z direction / incident angle / both]. Consequently, as shown in drawing 5 (c), each surface light sources 44a-44d move to the symmetry on both sides of an optical axis AX along a Z direction and the direction of X, with the configuration and magnitude maintained. Namely, if both spacing of the 1st V groove axicon system 7 and spacing of the 2nd V groove axicon system 8 are expanded, surface light source 44a will move in + Z direction and the direction of +X, surface light source 44b will move in + Z direction and the direction of -X, surface light source 44c will move in - Z direction and the direction of -X, and 44d of surface light sources will move in - Z direction and the direction of +X.

[0053] In this way, according to an operation of the 1st V groove axicon system 7, the 2nd V groove axicon system 8, and a zoom lens 9, it can continue broadly, and the location of each surface light source which constitutes the secondary 4 pole-like light source can be moved, and the magnitude can be continued and changed to the predetermined range. However, in fact, the rate of a flow rate of each surface light source by the 1st V groove axicon system 7 or the 2nd V groove axicon system 8 (namely, coordinate location of the surface light source of the migration origin to the coordinate location of the surface light source of a migration place) has the constraint on an optical design, and the successive range of each surface light source has a limit.

[0054] So, with the 1st operation gestalt, it has three kinds of diffracted-light study components from which a property differs as diffracted-light study component 4a for 4 pole lighting. That is, the secondary light source (see drawing 2 $R > 2$) of the shape of 4 poles from which the square which connects the central point of the four surface light sources, and is formed of the 1st diffracted-light study component for 4 pole lighting turns into a square is formed. Moreover, the secondary light source of the shape of 4 poles from which the square which connects the central point of the four surface light sources, and is formed of the 2nd diffracted-light study component for 4 pole lighting turns into a long and slender rectangle along the direction of X is formed. Furthermore, the secondary light source of the shape of 4 poles from which the

square which connects the central point of the four surface light sources, and is formed of the 3rd diffracted-light study component for 4 pole lighting turns into a long and slender rectangle along with a Z direction is formed.

[0055] In this way, with 4 pole lighting of the 1st operation gestalt, even if it is the case where the rate of a flow rate of each surface light source by the 1st V groove axicon system 7 or the 2nd V groove axicon system 8 (as a result, the successive range) is restricted to some extent from a viewpoint of an optical design. By using together three kinds of diffracted-light study components for 4 pole lighting from which a property differs, the location of each surface light source can be moved free in the field of the shape of a circular ring centering on an optical axis AX.

[0056] by the way -- having mentioned above -- as -- the diffracted light -- study -- a component -- four -- a -- the illumination light -- a way -- receiving -- insertion and detachment -- free -- constituting -- having -- and -- the zona orbicularis -- lighting -- ** -- the diffracted light -- study -- a component -- four -- b -- usually -- circular -- lighting -- ** -- the diffracted light -- study -- a component -- four -- c -- a switch -- possible -- constituting -- having -- **** . The zona-orbicularis lighting obtained by replacing with diffracted-light study component 4a, and setting up diffracted-light study component 4b all over an illumination-light way hereafter is explained briefly.

[0057] If it replaces with diffracted-light study component 4a for 4 pole lighting and diffracted-light study component 4b for zona-orbicularis lighting is set up all over an illumination-light way, the zona-orbicularis-like flux of light will be formed through diffracted-light study component 4b. Incidence of the flux of light of the shape of zona orbicularis formed through diffracted-light study component 4b is carried out to an afocal lens 5, and it forms a ring-like image (ring-like light source) in a pupil surface. The light from the image of the shape of this ring serves as the parallel flux of light mostly, is injected from an afocal lens 5, and forms the radiation field of the shape of zona orbicularis centering on an optical axis AX in the plane of incidence of the micro-lens array 10 through a zoom lens 9. Consequently, the secondary light source which has the almost same optical reinforcement as the radiation field formed in plane of incidence, i.e., the secondary light source of the shape of zona orbicularis centering on an optical axis AX, is formed in a backside [the micro-lens array 10] focal plane.

[0058] Drawing 6 is drawing explaining an operation of the zoom lens to the secondary light source formed in the zona-orbicularis lighting of the 1st operation gestalt. With the zona-orbicularis lighting of the 1st operation gestalt, secondary light source 60a of the shape of zona orbicularis currently formed in first stage changes to secondary light source 60c of the shape of zona orbicularis expanded in [the whole configuration] similarity by increasing the focal distance of a zoom lens 9. If it puts in another way, as for the secondary zona-orbicularis-like light source, the width of face and magnitude (outer diameter) will change [both] with operations of a zoom lens 9, without the zona-orbicularis ratio changing.

[0059] Drawing 7 is drawing explaining an operation of the 1st V groove axicon system to the secondary light source formed in the zona-orbicularis lighting of the 1st operation gestalt, and the 2nd V groove axicon system. Although whenever [in alignment with the Z direction of the incoming beams to the predetermined side 6 / incident angle] does not change with change of spacing of the 1st V groove axicon system 7 as mentioned above, whenever [incident angle / which met in the direction of X of the incoming beams to the predetermined side 6] changes. Consequently, as shown in drawing 7 (a), although each four surface light sources 61-64 of a four semicircle arc which constitute zona-orbicularis-like secondary light source 60a do not move to a Z direction, they move to the symmetry on both sides of an optical axis AX along the direction of X. Namely, if spacing of the 1st V groove axicon system 7 is expanded, the surface light sources 61 and 63 will move in the direction of -X, and will move the surface light sources 62 and 64 in the direction of +X.

[0060] On the other hand, although whenever [incident angle / which met in the direction of X of the incoming beams to the predetermined side 6] does not change with change of spacing of the 2nd V groove axicon system 8, whenever [in alignment with the Z direction of the incoming beams to the predetermined side 6 / incident angle] changes. Consequently, as shown in drawing 7 (b), although each surface light sources 61-64 do not move in the direction of X, they move to the symmetry on both sides of an optical axis AX along with a Z direction. That is, if spacing of the 2nd V groove axicon system 8 is expanded, the surface light sources 61 and 62 will move to + Z direction, and will move the surface light sources 63 and 64 to - Z direction.

[0061] Furthermore, change of both spacing of the 1st V groove axicon system 7 and spacing of the 2nd V groove axicon system 8 changes whenever [in alignment with whenever / incident angle / which met in the direction of X of the incoming beams to the predetermined side 6 / and, a Z direction / incident angle /

both]. Consequently, as shown in drawing 7 (c), each surface light sources 61-64 move to the symmetry on both sides of an optical axis AX along a Z direction and the direction of X. Namely, if spacing of the 1st V groove axicon system 7 and spacing of the 2nd V groove axicon system 8 are expanded, the surface light source 61 will move in + Z direction and the direction of -X, and the surface light source 62 moves in + Z direction and the direction of +X, the surface light source 63 will move in - Z direction and the direction of -X, and it will move the surface light source 64 in - Z direction and the direction of +X. In this way, the secondary light source of the shape of 4 poles which consists of the surface light source of the four shape of independent radii can be formed.

[0062] As mentioned above, although the operation of the 1st V groove axicon system 7 in the zona-orbicularis lighting of the 1st operation gestalt and the 2nd V groove axicon system 8 and the operation of a zoom lens 9 were explained according to the individual, the zona-orbicularis lighting of various gestalten is possible by the interaction of these optical members. If a zoom lens 9 is made to act in the condition which shows in drawing 7 (c), the surface light source 62 will move along the direction of a path of the circle centering on an optical axis AX, and, specifically, it will change to surface light source 62a from which the whole configuration changed in similarity, for example.

[0063] Furthermore, the usual circular lighting obtained by replacing with diffracted-light study component 4a for 4 pole lighting or diffracted-light study component 4b for zona-orbicularis lighting, and setting up diffracted-light study component 4c for circular lighting all over an illumination-light way is explained briefly. In this case, mostly, after [which carried out incidence to diffracted-light study component 4c] the parallel flux of light forms the optical intensity distribution of a circle configuration in the pupil surface of an afocal lens 5, it turns into the parallel flux of light mostly, and is injected from an afocal lens 5.

[0064] The flux of light through an afocal lens 5 forms the radiation field of the circle configuration centering on an optical axis AX in the plane of incidence of the micro-lens array 10 through a zoom lens 9. Consequently, the secondary light source which has the almost same optical intensity distribution as the radiation field formed of the incoming beams, i.e., the secondary light source of the circle configuration centering on an optical axis AX, is formed in a backside [the micro-lens array 10] focal plane (namely, pupil of an illumination-light study system).

[0065] With the circular lighting of the 1st operation gestalt, the secondary light source of the circle configuration which is first stage-like and was formed changes to the secondary light source of the circle configuration to which the whole configuration was expanded in similarity by increasing the focal distance of a zoom lens 9. If it puts in another way, with the circular lighting of the 1st operation gestalt, the magnitude (outer diameter) of the secondary light source of a circle configuration can be changed by changing the focal distance of a zoom lens 9.

[0066] Drawing 8 is drawing explaining an operation of the 1st V groove axicon system to the secondary light source formed in the circular lighting of the 1st operation gestalt, and the 2nd V groove axicon system. With the circular lighting of the 1st operation gestalt, if spacing of the 1st V groove axicon system 7 is expanded, as shown in drawing 8 (a), among the surface light sources 66a-66d of the four shape of 4 semicircles which constitutes the secondary light source of a circle configuration, the surface light sources 66a and 66c will move in the direction of -X, and the surface light sources 66b and 66d will move them in the direction of +X.

[0067] On the other hand, if spacing of the 2nd V groove axicon system 8 is expanded, as shown in drawing 8 (b), the surface light sources 66a and 66b will move to + Z direction, and will move the surface light sources 66c and 66d to - Z direction. Furthermore, if both spacing of the 1st V groove axicon system 7 and spacing of the 2nd V groove axicon system 8 are expanded, as shown in drawing 8 (c), surface light source 66a will move in + Z direction and the direction of -X, surface light source 66b will move in + Z direction and the direction of +X, surface light source 66c will move in - Z direction and the direction of -X, and 66d of surface light sources will move in - Z direction and the direction of +X. In this way, the secondary light source of the shape of 4 poles which consists of the surface light source of the four shape of independent 4 semicircles can be formed.

[0068] As mentioned above, although the operation of the 1st V groove axicon system 7 in the circular lighting of the 1st operation gestalt and the 2nd V groove axicon system 8 and the operation of a zoom lens 9 were explained according to the individual, the circular lighting of various gestalten is possible by the interaction of these optical members. However, the variable power range of the outer diameter by the zoom lens 9 has a limit by constraint on an optical design in fact. So, with the 1st operation gestalt, it has two kinds of diffracted-light study components from which a property differs as diffracted-light study component 4c for circular lighting.

[0069] That is, with the 1st operation gestalt, the secondary light source of the circle configuration which has the configuration of having been suitable for changing a sigma value at an in-between sigma value, i.e., the range to Inside sigma, is formed from a comparatively small sigma value, i.e., small mho, by one diffracted-light study component for circular lighting. Moreover, the secondary light source of the circle configuration which has the configuration where it was suitable for changing a sigma value in the range from Inside sigma to a comparatively large sigma value, i.e., large mho, with the diffracted-light study component for circular lighting of another side is formed. Consequently, concomitant use of two kinds of diffracted-light study components for circular lighting enables it to change a sigma value in the range (for example, $0.1 \leq \sigma \leq 0.95$) from small mho to large mho.

[0070] Hereafter, switch actuation of the lighting conditions in the 1st operation gestalt etc. is explained concretely. First, the information about various kinds of masks which should carry out sequential exposure according to step-and-repeat method or step - and - scanning method etc. is inputted into a control system 21 through the input means 20, such as a keyboard. The control system 21 has memorized information, such as optimal line breadth (resolution) about various kinds of masks, and the depth of focus, in the internal memory section, answers an input from the input means 20, and supplies the suitable control signal for drive systems 22-26.

[0071] namely, the basis of the optimal resolution and the depth of focus -- 4 -- when illuminating very much, a drive system 22 positions diffracted-light study component 4a for 4 pole lighting all over an illumination-light way based on the command from a control system 21. And in order to acquire the secondary light source of the shape of 4 poles which has a desired gestalt, drive systems 25 and 26 set up spacing of the axicon systems 7 and 8 based on the command from a control system 21, and a drive system 23 sets up the focal distance of a zoom lens 9 based on the command from a control system 21. Moreover, a drive system 24 drives the adjustable aperture diaphragm of projection optics PL based on the command from a control system 21.

[0072] Furthermore, the gestalt of the secondary light source of the shape of 4 poles formed in a backside [the micro-lens array 10] focal plane can be suitably changed if needed by changing spacing of the axicon systems 7 and 8 by drive systems 25 and 26, or changing the focal distance of a zoom lens 9 by the drive system 23. In this way, the magnitude (outer diameter) of the secondary whole 4 pole-like light source and a configuration (zona-orbicularis ratio), the location of each surface light source, a configuration, magnitude, etc. can be changed suitably, and various 4 pole lighting can be performed.

[0073] Moreover, when carrying out zona-orbicularis lighting under the optimal resolution and the depth of focus, a drive system 22 positions diffracted-light study component 4b for zona-orbicularis lighting all over an illumination-light way based on the command from a control system 21. And in order to acquire the secondary light source of the shape of zona orbicularis which has a desired gestalt, or in order to acquire the secondary light source of the shape of 4 poles derivatively acquired from the secondary zona-orbicularis-like light source, or the secondary 2 pole-like light source, drive systems 25 and 26 set up spacing of the axicon systems 7 and 8 based on the command from a control system 21, and a drive system 23 sets up the focal distance of a zoom lens 9 based on the command from a control system 21. Moreover, a drive system 24 drives the adjustable aperture diaphragm of projection optics PL based on the command from a control system 21.

[0074] Furthermore, the gestalt of the gestalt of the secondary light source of the shape of zona orbicularis formed in a backside [the micro-lens array 10] focal plane, the secondary light source of the shape of 4 poles acquired derivatively, or the secondary 2 pole-like light source can be suitably changed if needed by changing spacing of the axicon systems 7 and 8 by drive systems 25 and 26, or changing the focal distance of a zoom lens 9 by the drive system 23. In this way, the magnitude (outer diameter) of the secondary whole zona-orbicularis-like light source and a configuration (zona-orbicularis ratio), the location of each surface light source acquired derivatively, a configuration, magnitude, etc. can be changed suitably, and various zona-orbicularis lighting can be performed.

[0075] Furthermore, when carrying out the circular lighting usual by the basis of the optimal resolution and the depth of focus, a drive system 22 positions diffracted-light study component 4c for circular lighting all over an illumination-light way based on the command from a control system 21. And in order to acquire the secondary light source of the circle configuration which has a desired gestalt, or in order to acquire the secondary light source of the shape of 4 poles derivatively acquired from the secondary light source of a circle configuration, or the secondary 2 pole-like light source, drive systems 25 and 26 set up spacing of the axicon systems 7 and 8 based on the command from a control system 21, and a drive system 23 sets up the focal distance of a zoom lens 9 based on the command from a control system 21. Moreover, a drive system

24 drives the adjustable aperture diaphragm of projection optics PL based on the command from a control system 21.

[0076] Furthermore, the gestalt of the gestalt of the secondary light source of the circle configuration formed in a backside [the micro-lens array 10] focal plane, the secondary light source of the shape of 4 poles acquired derivatively, or the secondary 2 pole-like light source can be suitably changed if needed by changing spacing of the axicon systems 7 and 8 by drive systems 25 and 26, or changing the focal distance of a zoom lens 9 by the drive system 23. In this way, the magnitude (as a result, sigma value) of the whole secondary light source of a circle configuration, the location of each surface light source acquired derivatively, a configuration, magnitude, etc. can be changed suitably, and various circular lighting can be performed.

[0077] In addition, with the 1st operation gestalt, although the 1st V groove axicon system 7 and the 2nd V groove axicon system 8 are arranged sequentially from a light source side, this location sequence can also be changed suitably. Moreover, although the 1st prism member which has a concave refracting interface, and the 2nd prism member which has a convex refracting interface are arranged sequentially from a light source side by each axicon systems 7 and 8, this location sequence can also be made reverse.

[0078] Drawing 9 is drawing showing roughly the configuration of the aligner equipped with the illumination-light study equipment concerning the 2nd operation gestalt of this invention. Moreover, drawing 10 is the perspective view showing roughly the configuration of the cone axicon system arranged in the optical path of an afocal lens in the 2nd operation gestalt, and a V groove axicon system. The 2nd operation gestalt has a configuration similar to the 1st operation gestalt. However, with the 2nd operation gestalt, the point that one cone axicon system and one V groove axicon system are arranged is fundamentally different from the 1st operation gestalt with the 1st operation gestalt to two V groove axicon systems being arranged in the optical path of an afocal lens 5. Hereafter, the 2nd operation gestalt is explained paying attention to difference with the 1st operation gestalt.

[0079] With the 2nd operation gestalt, as shown in drawing 10, the cone axicon system 14 and the V groove axicon system 15 are arranged sequentially from the light source side in the optical path between before [an afocal lens 5] side lens group 5a, and backside lens group 5b. The cone axicon system 14 consists of 2nd prism member 14b which turned the flat surface to 1st prism member 14a which turned the flat surface to the light source side, and turned the concave conic refracting interface to the mask side sequentially from the light source side, and a mask side, and turned the convex conic refracting interface to the light source side.

[0080] And the concave conic refracting interface of 1st prism member 14a and the convex conic refracting interface of 2nd prism member 14b are formed complementary so that it can contact mutually. Moreover, 1st prism member 14a is constituted movable in accordance with an optical axis AX, 2nd prism member 14b is fixed in accordance with an optical axis AX, and spacing of the concave conic refracting interface of 1st prism member 14a and the convex conic refracting interface of 2nd prism member 14b is constituted by adjustable. Change of spacing of the cone axicon system 14 is performed by the drive system 27 which operates based on the command from a control system 21.

[0081] Here, in the condition that the concave cone-like refracting interface of 1st prism member 14a and the convex cone-like refracting interface of 2nd prism member 14b have contacted mutually, the cone axicon system 14 functions as a plane-parallel plate, and there is no effect affect the secondary light source of the shape of 4 poles formed. However, if the concave cone-like refracting interface of 1st prism member 14a and the convex cone-like refracting interface of 2nd prism member 14b are made to estrange, the cone axicon system 14 will function as the so-called beam expander. Therefore, the include angle of the incoming beams to the predetermined side 6 changes with change of spacing of the cone axicon system 14.

[0082] moreover, the 1st V groove axicon system [in / in the V groove axicon system 15 / the 1st operation gestalt] 7 -- the same -- a light source side -- a flat surface -- turning -- and a mask side -- a concave -- and 1st prism member 15a which turned the V character-like refracting interface and a mask side -- a flat surface -- turning -- and a light source side -- convex -- and it consists of 2nd prism member 15b which turned the V character-like refracting interface. The concave refracting interface of 1st prism member 15a consisted of two flat surfaces, and the intersection (ridgeline) is prolonged along with the Z direction. If the convex refracting interface of 2nd prism member 15b is put in another way so that it can contact as mutually as the concave refracting interface of 1st prism member 15a, it is formed complementary with the concave refracting interface of 1st prism member 15a.

[0083] That is, the convex refracting interface of 2nd prism member 15b also consisted of two flat surfaces, and the intersection (ridgeline) is prolonged along with the Z direction. Moreover, 1st prism member 15a is fixed in accordance with an optical axis AX, 2nd prism member 15b is constituted movable in accordance

with an optical axis AX, and spacing of the concave refracting interface of 1st prism member 15a and the convex refracting interface of 2nd prism member 15b is constituted by adjustable. Change of spacing of the V groove axicon system 15 is performed by the drive system 28 which operates based on the command from a control system 21.

[0084] Here, in the condition that the concave refracting interface and convex refracting interface which counter have contacted mutually, the V groove axicon system 15 functions as a plane-parallel plate, and there is no effect affect the secondary light source of the shape of 4 poles formed. However, although the V groove axicon system 15 will function as a plane-parallel plate along with a Z direction like the 1st V groove axicon system 7 in the 1st operation gestalt if it makes a concave refracting interface and a convex refracting interface estrange, it functions as a beam expander along the direction of X. In addition, although the V groove axicon system 15 has the same configuration as the 1st V groove axicon system 7 in the 1st operation gestalt in drawing 9 and drawing 10, it is good also as the same configuration as the 2nd V groove axicon system 8.

[0085] Drawing 11 is drawing explaining an operation of the cone axicon system to the secondary light source formed in 4 pole lighting of the 2nd operation gestalt. While each surface light sources 40a-40d of the circle configuration which constitutes the secondary 4 pole-like light source from 4 pole lighting of the 2nd operation gestalt by making spacing of the cone axicon system 14 expand move to the method of outside along the direction of a path of the circle centering on an optical axis AX, the configuration changes from a circle configuration to elliptical. That is, the segment which connects the surface light sources [of the circle configuration before change / each / 40a-40d] central point and the each elliptical [after change] surface light sources [41a-41d] central point passes along an optical axis AX, and the migration length of the central point is dependent on spacing of the cone axicon system 14.

[0086] Furthermore, the include angle (include angle which the tangent of the pair from the optical axis AX to each surface light sources 40a-40 makes) which expects each surface light sources 40a-40d of the circle configuration before change from an optical axis AX, and the include angle which expects each surface light sources 41a-41d elliptical [after change] from an optical axis AX are equal. And the minor axis which met in the direction of a path of the circle centering on the each an each surface light sources [of the circle configuration before change / 40a-40d] diameter and elliptical [after change] surface light sources [41a-41d] optical axis AX is equal. In addition, it depends for the magnitude of the major axis along the hoop direction of the circle centering on the each elliptical [after change] surface light sources [41a-41d] optical axis AX on an each surface light sources [of the circle configuration before change / 40a-40d] diameter, and spacing of the cone axicon system 14.

[0087] Therefore, the outer diameter and a zona-orbicularis ratio can be changed, without the secondary light source of the shape of 4 poles which consists of the surface light sources of four circle configurations changing to the secondary light source of the shape of 4 poles which consists of the four elliptical surface light sources, and changing the width of face of the secondary light source before change, if spacing of the cone axicon system 14 is made to expand from zero to a predetermined value. Here, the width of face of the secondary 4 pole-like light source is specified as 1/2 of the difference of the diameter of circle, the diameter of circle, i.e., the outer diameter, circumscribed to the four surface light sources, i.e., a bore, inscribed in the four surface light sources. Moreover, the zona-orbicularis ratio of the secondary 4 pole-like light source is specified as a ratio (a bore/outer diameter) of a bore to an outer diameter.

[0088] As mentioned above, with 4 pole lighting of the 2nd operation gestalt, since only one V groove axicon system 15 is arranged, it cannot change only the location two-dimensional, with the configuration and magnitude of each surface light source of a circle configuration maintained which constitute the secondary 4 pole-like light source. However, while using alternatively two or more diffracted-light study component 4a for 4 pole lighting, in the field of the shape of a circular ring centering on an optical axis AX, the location, the configuration, and magnitude of each surface light source can be suitably changed by using an operation of the cone axicon system 14, the V groove axicon system 15, and a zoom lens 9.

[0089] Drawing 12 is drawing explaining an operation of the cone axicon system to the secondary light source formed in the zona-orbicularis lighting of the 2nd operation gestalt. With the zona-orbicularis lighting of the 2nd operation gestalt, it changes to secondary light source 60b of the shape of zona orbicularis to which the outer diameter and bore were expanded [both], without the width of face (1/2 of the difference of an outer diameter and a bore: the drawing Nakaya mark showing) changing, when secondary light source 60a of the shape of zona orbicularis formed in first stage makes spacing of the cone axicon system 14 expand. If it puts in another way, as for the secondary zona-orbicularis-like light source, the zona-orbicularis ratio and magnitude (outer diameter) will change [both] with operations of the cone

axicon system 14, without the width of face changing.

[0090] However, the modification range of the zona-orbicularis ratio by the cone axicon system 14 has a limit by constraint on an optical design in fact. So, with the 2nd operation gestalt, it has two kinds of diffracted-light study components from which a property differs as diffracted-light study component 4b for zona-orbicularis lighting. That is, with the 2nd operation gestalt, the secondary light source of the shape of zona orbicularis which has the configuration where it was suitable for changing a zona-orbicularis ratio in 0.5-0.68 with one diffracted-light study component for zona-orbicularis lighting is formed. Moreover, the secondary light source of the shape of zona orbicularis which has the configuration where it was suitable for changing a zona-orbicularis ratio in 0.68-0.8 with the diffracted-light study component for zona-orbicularis lighting of another side is formed. Consequently, concomitant use of two kinds of diffracted-light study components for zona-orbicularis lighting enables it to change a zona-orbicularis ratio in 0.5-0.8.

[0091] As mentioned above, with the zona-orbicularis lighting of the 2nd operation gestalt, since only one V groove axicon system 15 is arranged, the secondary 4 pole-like light source cannot be derivatively acquired from the secondary zona-orbicularis-like light source. However, while using alternatively two or more diffracted-light study component 4b for zona-orbicularis lighting By using an operation of the cone axicon system 14, the V groove axicon system 15, and a zoom lens 9 The location, the configuration, and magnitude of each surface light source which constitutes the secondary light source of the shape of 2 poles derivatively acquired from the secondary light source of the shape of the overall magnitude and the overall configuration (zona-orbicularis ratio) of the secondary zona-orbicularis-like light source, or zona orbicularis can be changed suitably.

[0092] Furthermore, with the circular lighting of the 2nd operation gestalt, since only one V groove axicon system 15 is arranged, the secondary 4 pole-like light source cannot be derivatively acquired from the secondary light source of a circle configuration. However, while using alternatively two or more diffracted-light study component 4c for circular lighting, the location, the configuration, and magnitude of each surface light source which constitutes the secondary light source of the shape of 2 poles derivatively acquired from the secondary light source of the overall magnitude of the secondary light source of a circle configuration or a circle configuration can be suitably changed by using an operation of the cone axicon system 14, the V groove axicon system 15, and a zoom lens 9.

[0093] Drawing 13 is drawing showing roughly the configuration of the aligner equipped with the illumination-light study equipment concerning the 3rd operation gestalt of this invention. The 3rd operation gestalt has a configuration similar to the 1st operation gestalt. However, with the 3rd operation gestalt, it replaces with the optical integrator (micro-lens array 10) of a wavefront-splitting mold, and the point of using the optical integrator (rod mold integrator 70) of an internal reflection mold is fundamentally different from the 1st operation gestalt. Hereafter, the 3rd operation gestalt is explained paying attention to difference with the 1st operation gestalt.

[0094] With the 3rd operation gestalt, the zoom lens 71, the 2nd diffracted-light study component (or micro-lens array) 72, and the input lens 73 are arranged sequentially from a light source side corresponding to having replaced with the micro-lens array 10 and arranging the rod mold integrator 70 in the optical path between the diffracted-light study component 4 and the rod mold integrator 70. Moreover, the mask blind 12 as a lighting field diaphragm is arranged near the injection side of the rod mold integrator 70.

[0095] Here, the zoom lens 71 is arranged so that the before side focal location of an after that side focal location may correspond with the location of the 2nd diffracted-light study component 72 mostly almost in accordance with the location of the diffracted-light study component 4. In addition, change of the focal distance of a zoom lens 71 is performed by the drive system 29 which operates based on the command from a control system 21. Moreover, the input lens 73 is arranged so that the before side focal location of an after that side focal location may correspond with the location of the plane of incidence of the rod mold integrator 70 mostly almost in accordance with the location of the 2nd diffracted-light study component 72.

[0096] The rod mold integrator 70 is the glass rod of the internal reflection mold which consists of a glass ingredient like quartz glass or fluorite, and forms the light source image of the number according to the number of internal reflection along a field parallel to rod plane of incidence through a condensing point using total reflection, the interface, i.e., the inside, of the interior and the exterior. Here, although most light source images formed are virtual images, only a central (condensing point) light source image turns into a real image. That is, the flux of light which carried out incidence to the rod mold integrator 70 is divided in the include-angle direction by internal reflection, and the secondary light source which consists of many light source images along a field parallel to the plane of incidence through a condensing point is formed.

[0097] Therefore, with 4 pole lighting (zona-orbicularis lighting or circular lighting) of the 3rd operation

gestalt, the flux of light which passed diffracted-light study component 4a (4b or 4c) alternatively installed in the illumination-light way forms a 4 pole-like (shape of zona orbicularis, circle configuration) radiation field on the 2nd diffracted-light study component 72 through a zoom lens 71. The flux of light which passed the 2nd diffracted-light study component 72 condenses near the plane of incidence of the rod mold integrator 70 through the input lens 73. Drawing 14 is drawing explaining an operation of the 2nd diffracted-light study component in the 3rd operation gestalt.

[0098] As shown in drawing 14 (a), when the 2nd diffracted-light study component 72 is not arranged, the flux of light through a zoom lens 71 and the input lens 73 condenses to about one point on plane-of-incidence 70a of the rod mold integrator 70. The light source of a large number formed in the incidence side by the rod mold integrator 70 will become very in dissipation (the filling factor of each light source to the whole secondary light source becoming small), and it will become impossible consequently, to acquire the substantial surface light source.

[0099] So, with the 3rd operation gestalt, the 2nd diffracted-light study component 72 as a flux of light emission component is arranged near the before [the input lens 73] side focal location. In this way, as shown in drawing 14 R> 4 (b), the flux of light emitted through the 2nd diffracted-light study component 72 condenses with predetermined breadth through the input lens 73 in the plane-of-incidence 70a top of the rod mold integrator 70. Consequently, the light source of a large number formed in the incidence side by the rod mold integrator 70 becomes very dense (the filling factor of each light source to the whole secondary light source becoming large), and the secondary light source as the substantial surface light source can be acquired.

[0100] The flux of light from the secondary light source of the shape of 4 poles formed in the incidence side by the rod mold integrator 70 (the shape of zona orbicularis, circle configuration) illuminates the mask M with which the predetermined pattern was formed through the mask blind 12 and the image formation optical system 13, after being superimposed in the injection side. In addition, with the 3rd operation gestalt, the 1st V groove axicon system 7 and the 2nd V groove axicon system 8 are arranged sequentially from the light source side in the optical path between before [a zoom lens 71] side lens group 71a, and backside lens group 71b.

[0101] Therefore, while using alternatively two or more diffracted-light study component 4a for 4 pole lighting like the 1st operation gestalt also in 4 pole lighting of the 3rd operation gestalt In the field of the shape of a circular ring centering on an optical axis AX, the location, the configuration, and magnitude of each surface light source which constitutes the secondary zona-orbicularis-like light source can be suitably changed by using an operation of the 1st V groove axicon system 7, the 2nd V groove axicon system 8, and a zoom lens 71.

[0102] Moreover, while using alternatively two or more diffracted-light study component 4b for zona-orbicularis lighting like the 1st operation gestalt also in the zona-orbicularis lighting of the 3rd operation gestalt By using an operation of the 1st V groove axicon system 7, the 2nd V groove axicon system 8, and a zoom lens 71 The location, the configuration, and magnitude of each surface light source which constitutes the secondary light source of the shape of 2 poles derivatively acquired from the secondary light source of the shape of the overall magnitude and the overall configuration (zona-orbicularis ratio) of the secondary zona-orbicularis-like light source, or zona orbicularis or the secondary 4 pole-like light source can be changed suitably.

[0103] Furthermore, while using alternatively two or more diffracted-light study component 4c for circular lighting like the 1st operation gestalt also in the circular lighting of the 3rd operation gestalt By using an operation of the 1st V groove axicon system 7, the 2nd V groove axicon system 8, and a zoom lens 71 The location, the configuration, and magnitude of each surface light source which constitutes the secondary light source of the shape of 2 poles derivatively acquired from the secondary light source of the overall magnitude of the secondary light source of a circle configuration or a circle configuration or the secondary 4 pole-like light source can be changed suitably.

[0104] In addition, although illustration was omitted, it replaces with the optical integrator (micro-lens array 10) of the wavefront-splitting mold in the 2nd operation gestalt, and the 4th operation gestalt using the optical integrator (rod mold integrator 70) of an internal reflection mold is also possible. In this case, the point which arranges a zoom lens 71, the 2nd diffracted-light study component (or micro-lens array) 72, and the input lens 73 sequentially from a light source side in the optical path between the diffracted-light study component 4 and the rod mold integrator 70 is the same as the 3rd operation gestalt. In this way, with the 4th operation gestalt, various 4 pole lighting, zona-orbicularis lighting, and circular lighting can be performed like the 2nd operation gestalt by using an operation of the cone axicon system 14, the V groove

axicon system 15, and a zoom lens 71.

[0105] As mentioned above, in the 1st operation gestalt - 4th operation gestalt, the magnitude and the configuration of the whole secondary light source change to the direction of X, or a Z direction by changing spacing of a V groove axicon system (7, 8, or 15). Consequently, the optimal lighting conditions can be set up in two directions in which it intersects perpendicularly on the mask M which can realize lighting conditions which are mutually different in two directions (the direction of X, and the direction of Y) in which it intersects perpendicularly on Mask M, as a result has directivity in a pattern.

[0106] In addition, especially the 1st operation gestalt and the 3rd operation gestalt equipped only with the V groove axicon systems 7 and 8 of a pair are suitable for the lithography process of memory (DRAM etc.). Moreover, especially the 2nd operation gestalt and the 4th operation gestalt equipped only with the cone axicon system 14 and one V groove axicon system 15 are suitable for the lithography process of logic devices (MPU etc.). Furthermore, the modification equipped with the cone axicon system and the V groove axicon system of a pair is also possible, and this modification is suitable for the lithography process of the common micro device containing a semiconductor device.

[0107] Next, the characteristic configuration and characteristic operation of this invention in each operation gestalt are further explained to a detail. First, the 1st V groove axicon system 7 (the 1st axicon system) is constituted from 1st prism member 7a constituted movable in accordance with the optical axis AX, and 2nd prism member 7b fixed in accordance with the optical axis AX by the 1st operation gestalt (even the 3rd operation gestalt is the same) sequentially from the light source side. Moreover, the 2nd V groove axicon system 8 (the 2nd axicon system) consists of 1st prism member 8a fixed in accordance with the optical axis AX, and 2nd prism member 8b constituted movable in accordance with the optical axis AX sequentially from the light source side.

[0108] Thus, the inside of four prism members (7a, 7b, 8a, 8b) which constitute the 1st V groove axicon system 7 and the 2nd V groove axicon system 8 from a 1st operation gestalt, Two prism members (7a, 8b) arranged outside are constituted movable in accordance with an optical axis AX, and two prism members (7b, 8a) arranged inside are being fixed in accordance with the optical axis AX. Consequently, the 1st migration device for moving 1st prism member 7a in accordance with an optical axis AX with the 1st operation gestalt (un-illustrating), Since spacing with the 2nd migration device (un-illustrating) for moving 2nd prism member 8b in accordance with an optical axis AX is secured greatly enough, a mechanical interference of migration devices can be avoided certainly, as a result a compact whole configuration can be realized.

[0109] Moreover, also in the 2nd operation gestalt (even the 4th operation gestalt is the same), the cone axicon system 14 (the 1st axicon system) consists of 1st prism member 14a constituted movable in accordance with the optical axis AX, and 2nd prism member 14b fixed in accordance with the optical axis AX sequentially from the light source side. Moreover, the V groove axicon system 15 (the 2nd axicon system) consists of 1st prism member 15a fixed in accordance with the optical axis AX, and 2nd prism member 15b constituted movable in accordance with the optical axis AX sequentially from the light source side.

[0110] Thus, the inside of four prism members (14a, 14b, 15a, 15b) which constitute the cone axicon system 14 and the V groove axicon system 15 from a 2nd operation gestalt, Two prism members (14a, 15b) arranged outside are constituted movable in accordance with an optical axis AX, and two prism members (14b, 15a) arranged inside are being fixed in accordance with the optical axis AX. Consequently, the 1st migration device for moving 1st prism member 14a in accordance with an optical axis AX also in the 2nd operation gestalt (un-illustrating), Since spacing with the 2nd migration device (un-illustrating) for moving 2nd prism member 15b in accordance with an optical axis AX is secured greatly enough, a mechanical interference of migration devices can be avoided certainly, as a result a compact whole configuration can be realized.

[0111] In addition, it is desirable to form in one two prism members (7b, 8a) of the inside fixed in accordance with the optical axis AX among four prism members (7a, 7b, 8a, 8b) which constitute the 1st V groove axicon system 7 and the 2nd V groove axicon system 8 from a 1st operation gestalt as shown in drawing 15 as one prism member 7a8b. By this configuration, while raising the permeability of the light in the 1st V groove axicon system 7 and the 2nd V groove axicon system 8, the manufacture error and locational error of a prism member can be stopped, as a result a highly efficient axicon system can be realized with high degree of accuracy. Similarly, although illustration was omitted, it is desirable to form in one two prism members (14b, 15a) of the inside fixed in accordance with the optical axis AX among four prism members (14a, 14b, 15a, 15b) which constitute the cone axicon system 14 and the V groove axicon

system 15 in the 2nd operation gestalt as one prism member.

[0112] Drawing 16 is drawing explaining a general optical operation of a cone axicon system and a V groove axicon system. Moreover, drawing 17 is drawing showing the shadow field of the shape of a straight line formed corresponding to the shadow field of the circle configuration formed corresponding to the top-most vertices of the cone-like refracting interface of a cone axicon system, and the ridgeline of the V character-like refracting interface of a V groove axicon system. If drawing 16 is referred to, the beam of light which carried out incidence to the 1st prism member of a cone axicon system or a V groove axicon system in parallel to the optical axis AX will be injected in the direction which makes an include angle alpha to an optical axis AX according to the refraction operation, and separates from an optical axis AX, and will carry out incidence to the 2nd prism member.

[0113] The beam of light which carried out incidence to the 2nd prism member is injected in parallel to an optical axis AX, after receiving the refraction operation. At this time, the difference of the height h2 from the optical axis AX of a beam of light injected in parallel to an optical axis AX and the height h1 from the optical axis AX of the beam of light which carries out incidence to the 1st prism member in parallel to an optical axis AX is set to $\Delta h (=h_2-h_1)$ from the 2nd prism member. An include angle alpha (unit: degree) is expressed with the following formula (1).

[Equation 1]

$$\text{Alpha} = \sin^{-1} \{ n \times \sin(90 - \theta) \} + \theta - 90 = \sin^{-1} (n \times \cos \theta) + \theta - 90 \quad (1)$$

[0114] Here, n is a refractive index to the exposure light of the optical material which forms the 1st prism member and the 2nd prism member of an axicon system. In addition, when using the light source which supplies the light which, still more generally, has the wavelength of 200nm or less when using an ArF excimer laser (wavelength of 193nm) as the light source 1 in each operation gestalt, the endurance over laser light can be raised by forming each axicon system (7, 8, 14, 15) using fluorite (CaF₂).

[0115] On the other hand, Δh is expressed with the following formula (2).

$$\Delta h = A \times L \quad (2)$$

However, $A = (\tan \alpha \times \tan \theta) / (\tan \theta - \tan \alpha)$

[0116] Here, L is spacing (see drawing 16) in alignment with the optical axis AX of the refracting interface of the 1st prism member and the refracting interface of the 2nd prism member in each axicon system. Furthermore, 2θ is the vertical angle of the cone-like refracting interface in a cone axicon system, or the crossed axes angle of the V character-like refracting interface in a V groove axicon system.

[0117] By the way, it sets for the circular lighting of the 1st operation gestalt. When both spacing of the refracting interface of 1st prism member 8a of spacing of the refracting interface of 1st prism member 7a of the 1st V groove axicon system 7 and the refracting interface of 2nd prism member 7b and the 2nd V groove axicon system 8 and the refracting interface of 2nd prism member 8b is set as predetermined spacing, As shown in drawing 17 R> 7 (a), corresponding to the ridgeline of the V character-like refracting interface of the 1st V groove axicon system 7 and the 2nd V groove axicon system 8, a cross-joint-like shadow field (a null field shows among drawing) is formed in the secondary light source of the circle configuration formed in a backside [the micro-lens array 10] focal plane.

[0118] Moreover, when spacing of the refracting interface of 1st prism member 14a of the cone axicon system 14 and the refracting interface of 2nd prism member 14b is set as predetermined spacing in the circular lighting of the 2nd operation gestalt, As shown in drawing 17 (b), corresponding to the top-most vertices of the cone-like refracting interface of the cone axicon system 14, the shadow field (a null field shows among drawing) of a circle configuration is formed in the secondary light source of the circle configuration formed in a backside [the micro-lens array 10] focal plane.

[0119] In this case, the diameter D1 of the secondary light source of the circle configuration formed in a backside [the micro-lens array 10] focal plane is expressed with the following formula (3). Moreover, the width of face D2 of the shadow field of the shape of a straight line which constitutes a cross-joint-like shadow field, and the diameter D2 of the shadow field of a circle configuration are expressed with the following formula (4).

[Equation 2]

$$D1 = 2 \times f3 \times (f1 \times \sin \psi_{\text{imax}}) / f2 \quad (3)$$

$$D2 = 2 \times \Delta h \times f3 / f2 = 2 \times A \times L \times f3 / f2 \quad (4)$$

[0120] Here, ψ_{imax} is the maximum angle of diffraction of the diffracted-light study component 4 as a flux of light sensing element. Moreover, f1 is the focal distance of before [an afocal lens (the 1st optical system) 5] side lens group (1st lens group) 5a. Furthermore, f2 is the focal distance of backside [an afocal lens 5] lens group (2nd lens group) 5b. Moreover, f3 is the focal distance of a zoom lens (the 2nd optical system) 9.

[0121] When a formula (4) is referred to, the fact of make spacing L of the refracting interface of the 1st prism member and the refracting interface of the 2nd prism member into zero, i.e., by making the refracting interface of the 1st prism member and the refracting interface of the 2nd prism member contacting, shows that generating of a cross-joint-like shadow field or the shadow field of a circle configuration is avoidable. However, it is difficult to form the top-most-vertices part of the conic concave refracting interface of 1st prism member 14a of the cone axicon system 14, and the ridgeline part of the concave refracting interface of the shape of V character of the 1st prism member of a V groove axicon system (7 8) in an ideal configuration with desired profile irregularity. Moreover, if the refracting interface of the 1st prism member and the refracting interface of the 2nd prism member are made to contact, it will be easy to damage the top-most-vertices part of the conic convex refracting interface of 2nd prism member 14b of the cone axicon system 14, and the ridgeline part of the convex refracting interface of the shape of V character of the 2nd prism member of a V groove axicon system (7 8).

[0122] Then, in fact, it is impossible to make the refracting interface of the 1st prism member and the refracting interface of the 2nd prism member contact, and the spacing L of the refracting interface of the 1st prism member and the refracting interface of the 2nd prism member cannot make it smaller than a predetermined value. Consequently, in the secondary light source of a circle configuration, generating of a cross-joint-like shadow field or the shadow field of a circle configuration is unescapable. In this case, if especially circular lighting of small mho is performed, since the diameter D1 of the secondary light source of the circle configuration formed in a backside [the micro-lens array 10] focal plane will become small, the rate that a cross-joint-like shadow field and the shadow field of a circle configuration occupy the secondary light source becomes large, as a result the effect which it has on the optical intensity distribution in a lighting pupil becomes large. Therefore, it is required to stop as small as possible the width of face D2 of a cross-joint-like shadow field and the diameter D2 of the shadow field of a circle configuration.

[0123] In order to specifically acquire desired optical intensity distribution in a lighting pupil, without being substantially influenced of a cross-joint-like shadow field or the shadow field of a circle configuration It is required to hold down the width of face D2 of a cross-joint-like shadow field and the diameter D2 of the shadow field of a circle configuration to 1/10 or less [of the diameter D1 of the secondary light source of the circle configuration formed in a backside / the micro-lens array 10 / focal plane], i.e., to satisfy the conditions of $D1 \leq D2/10$. When a formula (3) and (4) are referred to, the conditions of $D1 \leq D2/10$ are expressed with the following formula (5), and, finally are specifically expressed with a formula (6).

$$2x_Ax_Lx_f3/f2 \leq 2xf3x(f1xsinpsimax)/(10xf2) \quad (5)$$

$$AxL \leq (f1xsinpsimax)/10 \quad (6)$$

[0124] As mentioned above, it is difficult to form the ridgeline part of the concave refracting interface of the shape of V character of the 1st prism member of a V groove axicon system (7 8) in an ideal configuration with desired profile irregularity. Consequently, spacing L of the refracting interface of the 1st prism member and the refracting interface of the 2nd prism member cannot be made smaller than a predetermined value, but a cross-joint-like shadow field occurs in the secondary light source of a circle configuration. Then, the minimum interval of the refracting interface of the 1st prism member and the refracting interface of the 2nd prism member is made as small as possible. As a result, in order to make as small as possible width of face D2 of the shadow field of the shape of a cross joint formed in the secondary light source of a circle configuration As shown in drawing 1818, it is effective that two prism members 81 and 82 divided along the field (the inside of drawing and an optical axis AX are included, and it is a field perpendicular to space) including an optical axis AX and the ridgeline of a refracting interface constitute the 1st prism 83.

[0125] While making the fixed back face 84 of a maintenance device contact outside end-face 81b which counters field 81a which met the optical axis AX of the division prism member 81 in this case, it energizes along with an arrow head F, making the movable back face 85 of a maintenance device contact outside end-face 82b which counters field 82a in alignment with the optical axis AX of the division prism member 82. In this way, posture maintenance of the adhesives etc. is carried out in the state of the so-called field touch through field 81a of the division prism member 81, and field 82a of the division prism member 82.

[0126] By the way, although vertical-angle 2theta (unit: degree) of the cone-like refracting interface in a cone axicon system or crossed-axes-angle 2theta of the V character-like refracting interface in a V groove axicon system is more greatly [than 90 degrees] smaller than 180 degrees theoretically, it is desirable to satisfy the following conditional expression (7) in fact.

$$120 < 2\theta < 160 \quad (7)$$

[0127] If less than the lower limit of conditional expression (7), the spacing L required to generate the same deltah is too small, and since highly precise control of deltah becomes difficult, it is inconvenient.

Moreover, if it exceeds the upper limit of conditional expression (7), the spacing L required to generate the same Δ is too large, and since enlargement of equipment is caused if enlargement of an axicon system is pulled, it is inconvenient. Thus, there is constraint about vertical-angle 2θ or crossed-axes-angle 2θ in an axicon system, and there is constraint also about the spacing L of the refracting interface in an axicon system. Therefore, especially in 4 pole lighting, the rate of a flow rate of each surface light source by the V groove axicon system (namely, coordinate location of the surface light source of the migration origin to the coordinate location of the surface light source of a migration place) has the constraint on an optical design, and the successive range of each surface light source has a limit.

[0128] So, with the 1st operation gestalt, the secondary light source of the shape of 4 poles from which the square which connects the central point of the four surface light sources, and is formed turns into a long and slender rectangle can be formed in first stage, and an operation of the 1st V groove axicon system 7 and the 2nd V groove axicon system 8 can perform still more various 4 pole lighting. As shown in drawing 5, with the 1st operation gestalt, specifically by the 1st diffracted-light study component for 4 pole lighting The secondary light source of the shape of 4 poles from which the square which connects the central point of the four surface light sources, and is formed turns into a square is formed in first stage. According to an operation of the 1st V groove axicon system 7 and the 2nd V groove axicon system 8 Each surface light source is moved to the symmetry on both sides of an optical axis AX along a Z direction and the direction of X, with the configuration and magnitude maintained.

[0129] In addition, with the 1st operation gestalt, as shown in drawing 19 (a), the secondary light source of the shape of 4 poles from which the square which connects the central point of the four surface light sources, and is formed of the 2nd diffracted-light study component for 4 pole lighting turns into a long and slender rectangle along the direction of X is formed. Moreover, with the 1st operation gestalt, as shown in drawing 19 (b), the secondary light source of the shape of 4 poles from which the square which connects the central point of the four surface light sources, and is formed of the 3rd diffracted-light study component for 4 pole lighting turns into a long and slender rectangle along with a Z direction is formed. And according to an operation of the 1st V groove axicon system 7 and the 2nd V groove axicon system 8, as the drawing Nakaya mark shows, each surface light source is moved to the symmetry on both sides of an optical axis AX along a Z direction and the direction of X, with the configuration and magnitude maintained.

[0130] In the aligner concerning each above-mentioned operation gestalt, a mask (reticle) can be illuminated with illumination-light study equipment (lighting process), and micro devices (a semiconductor device, an image sensor, a liquid crystal display component, thin film magnetic head, etc.) can be manufactured by what (exposure process) the pattern for an imprint formed in the mask using projection optics is exposed for to a photosensitive substrate. Hereafter, by forming a predetermined circuit pattern in the wafer as a photosensitive substrate etc. using the aligner of each above-mentioned operation gestalt explains with reference to the flow chart of drawing 20 per example of the technique at the time of obtaining the semiconductor device as a micro device.

[0131] First, in step 301 of drawing 20, a metal membrane is vapor-deposited on the wafer of one lot. In the following step 302, a photoresist is applied on the metal membrane on the wafer of the 1 lot. Then, in step 303, the sequential exposure imprint of the image of the pattern on a mask is carried out to each shot field on the wafer of the one lot through the projection optics using the aligner of each above-mentioned operation gestalt. Then, in step 304, after development of the photoresist on the wafer of the one lot is performed, in step 305, the circuit pattern corresponding to the pattern on a mask is formed in each shot field on each wafer by etching by using a resist pattern as a mask on the wafer of the one lot. Then, devices, such as a semiconductor device, are manufactured by performing formation of the circuit pattern of the upper layer etc. further. According to the above-mentioned semiconductor device manufacture approach, the semiconductor device which has a very detailed circuit pattern can be obtained with a sufficient throughput.

[0132] Moreover, in the aligner of each above-mentioned operation gestalt, the liquid crystal display component as a micro device can also be obtained by forming predetermined patterns (a circuit pattern, electrode pattern, etc.) on a plate (glass substrate). Hereafter, with reference to the flow chart of drawing 21, it explains per example of the technique at this time. In drawing 21, the so-called optical lithography process which carries out imprint exposure of the pattern of a mask at photosensitive substrates (glass substrate with which the resist was applied) is performed at the pattern formation process 401 using the aligner of each above-mentioned operation gestalt. Of this optical lithography process, the predetermined pattern containing many electrodes etc. is formed on a photosensitive substrate. Then, by passing through each process, such as a development process, an etching process, and a resist exfoliation process, a predetermined pattern is formed on a substrate and the exposed substrate shifts to the following color filter

formation process 402.

[0133] Next, in the color filter formation process 402, many groups of three dots corresponding to R (Red), G (Green), and B (Blue) are arranged in the shape of a matrix, or form the color filter which arranged the group of three filters, R, G, and B, of a stripe in the direction of two or more horizontal scanning line. And 403 is performed for a cel assembler after the color filter formation process 402. A cel assembler assembles a liquid crystal panel (liquid crystal cell) in 403 using the substrate which has the predetermined pattern obtained at the pattern formation process 401, the color filter obtained with the color filter formation process 402. In 403, a cel assembler pours in liquid crystal between the substrate which has the predetermined pattern obtained at the pattern formation process 401, for example, and the color filter obtained with the color filter formation process 402, and manufactures a liquid crystal panel (liquid crystal cell).

[0134] Then, a module assembler attaches each part articles in which the display action of the assembled liquid crystal panel (liquid crystal cell) is made to perform, such as an electrical circuit and a back light, and makes it complete as a liquid crystal display component in 404. According to the manufacture approach of an above-mentioned liquid crystal display component, the liquid crystal display component which has a very detailed circuit pattern can be obtained with a sufficient throughput.

[0135] In addition, with each above-mentioned operation gestalt, although the secondary light source of the shape of the shape of 4 poles or zona orbicularis is formed in instantiation in deformation lighting, the secondary light source of the shape of the so-called shape of two or more poles and a multi-electrode like the secondary light source of the shape of 8 poles which consists of the secondary light source of the shape of 2 poles which consists of the two surface light sources which carried out eccentricity to the optical axis, and the eight surface light sources which carried out eccentricity to the optical axis can also be formed.

[0136] Moreover, although each above-mentioned operation gestalt explained this invention taking the case of the projection aligner equipped with illumination-light study equipment, it is clear that this invention is applicable to the common illumination-light study equipment for illuminating irradiated planes other than a mask.

[0137]

[Effect of the Invention] As explained above, with the illumination-light study equipment of this invention, the secondary light source of the shape of the shape of 4 poles or zona orbicularis can be suitably changed according to an operation of an axicon system, and lighting conditions which are mutually different in two directions in which it intersects perpendicularly on an irradiated plane can be realized. Therefore, by the aligner and the exposure approach incorporating the illumination-light study equipment of this invention which can realize lighting conditions which are mutually different in two directions in which it intersects perpendicularly on an irradiated plane, the optimal lighting conditions can be set up in two directions in which it intersects perpendicularly on the mask which has directivity in a pattern, and a good micro device can be manufactured under good lighting conditions.

[Translation done.]

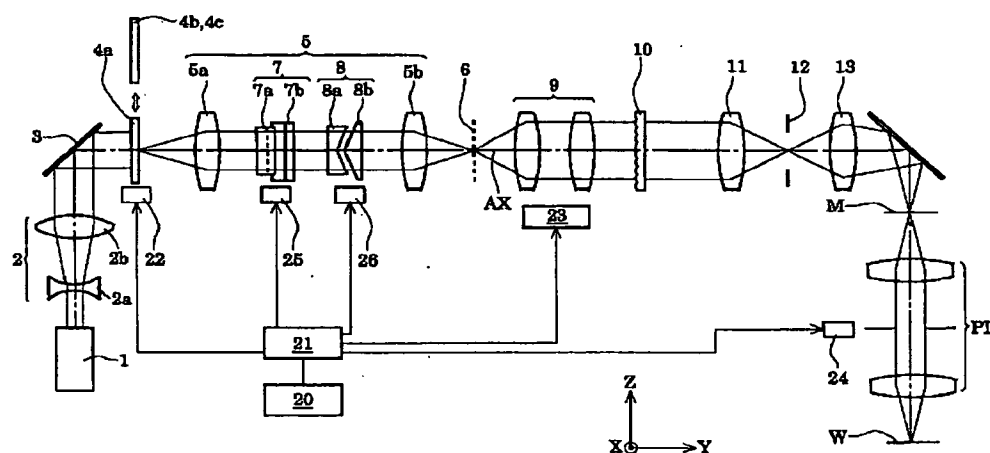
* NOTICES *

JPO and NCIPi are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

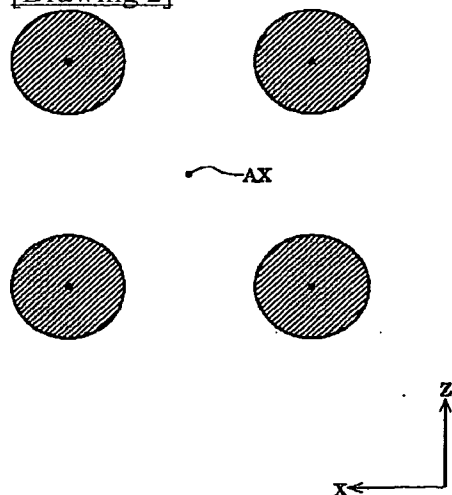
1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. **** shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

DRAWINGS

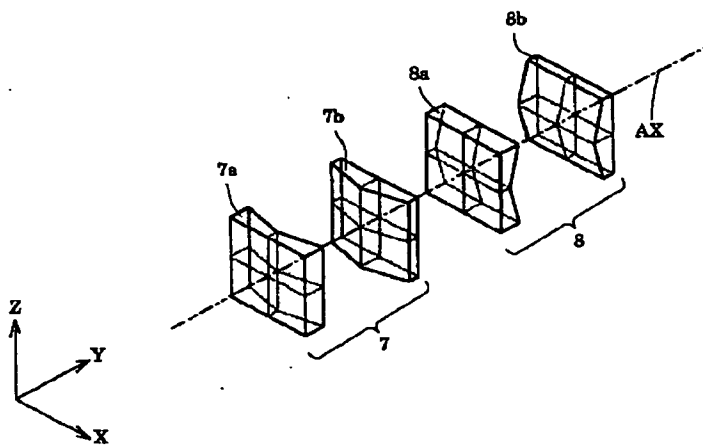
[Drawing 1]



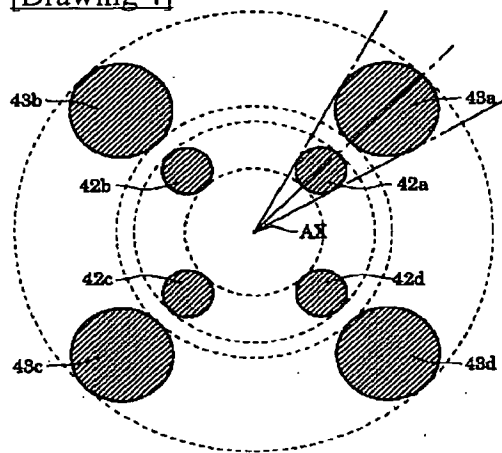
[Drawing 2]



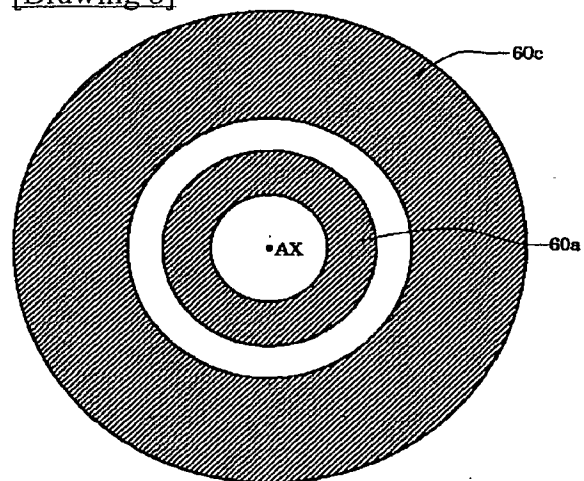
[Drawing 3]



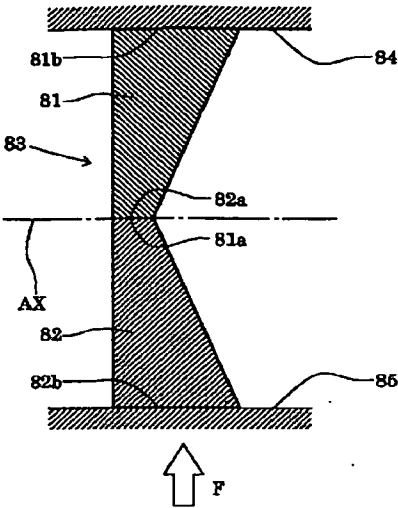
[Drawing 4]



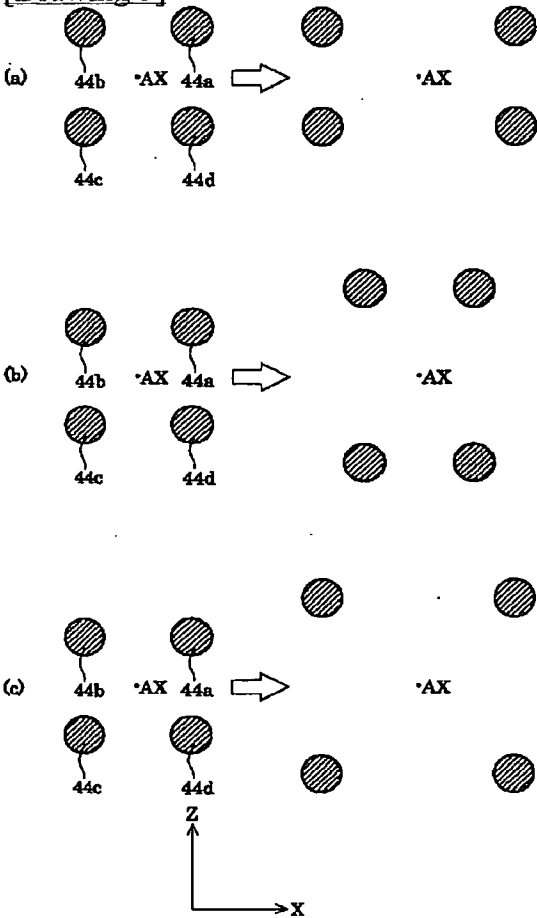
[Drawing 6]



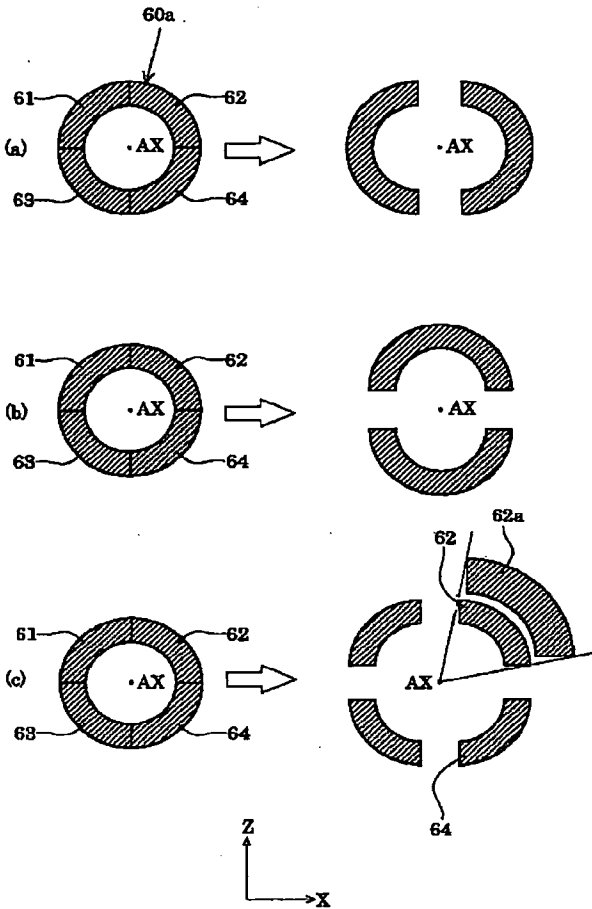
[Drawing 18]



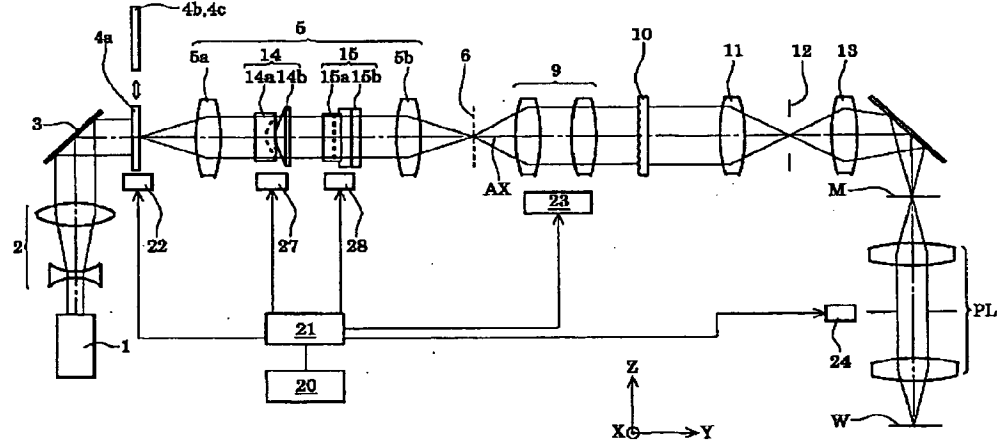
[Drawing 5]



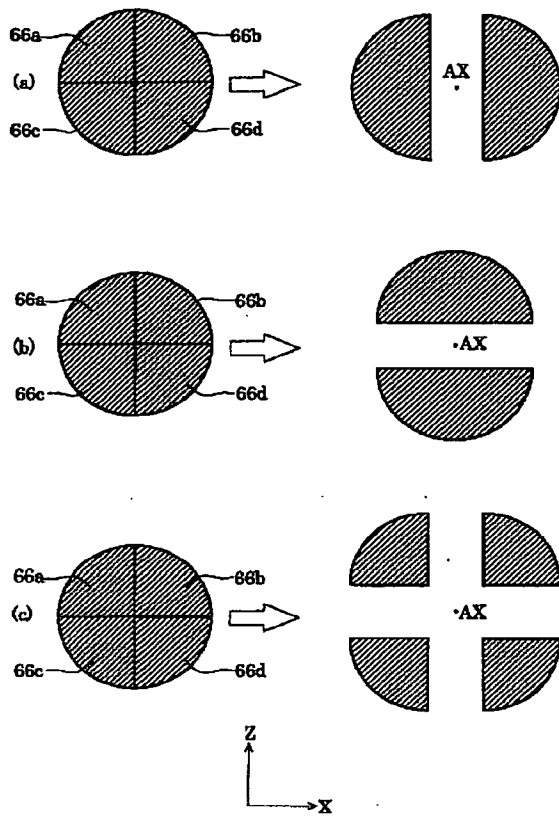
[Drawing 7]



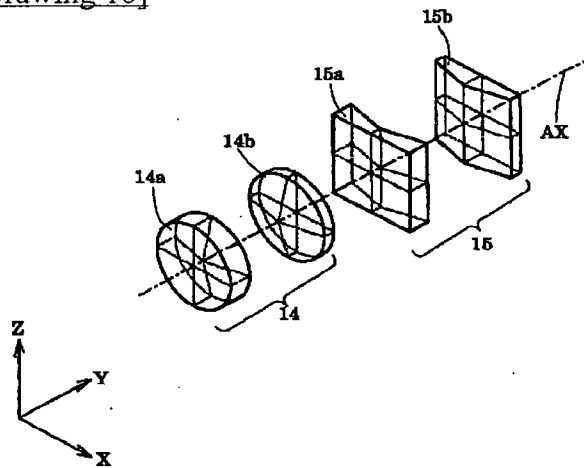
[Drawing 9]



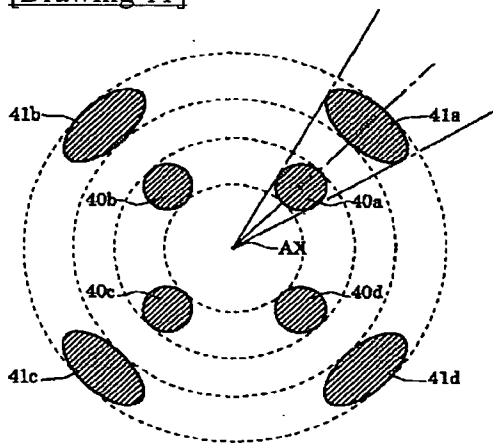
[Drawing 8]



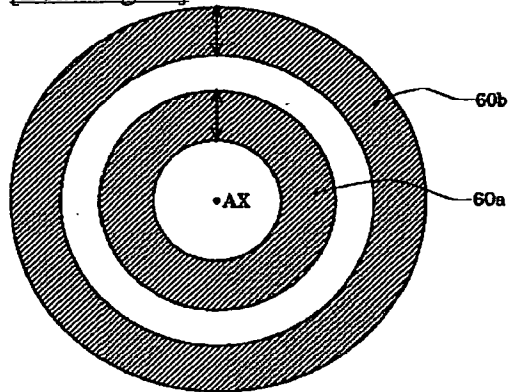
[Drawing 10]



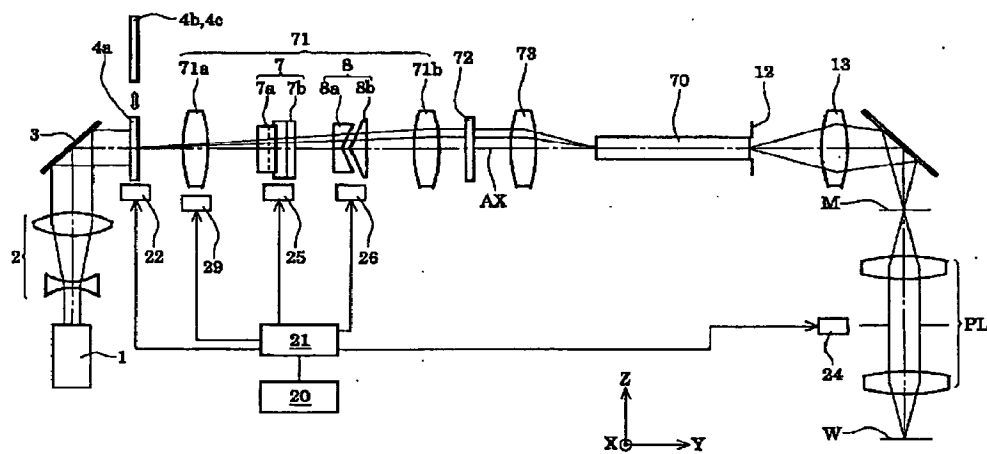
[Drawing 11]



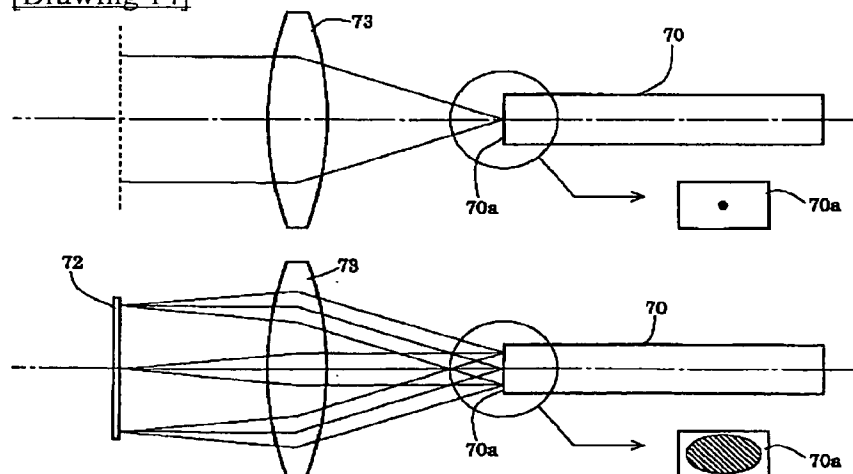
[Drawing 12]



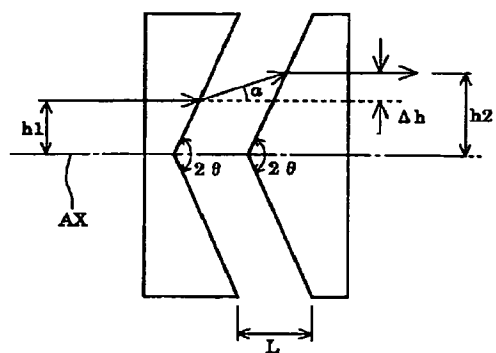
[Drawing 13]



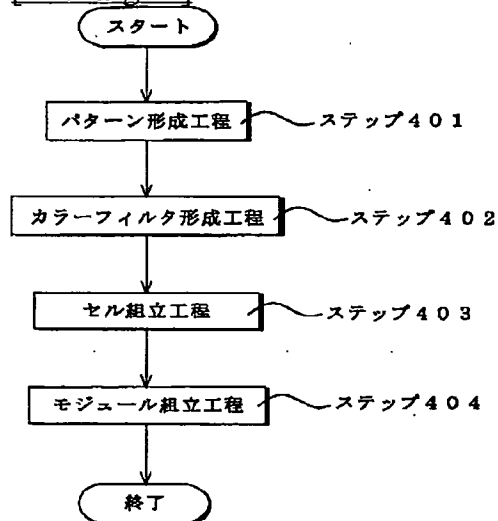
[Drawing 14]



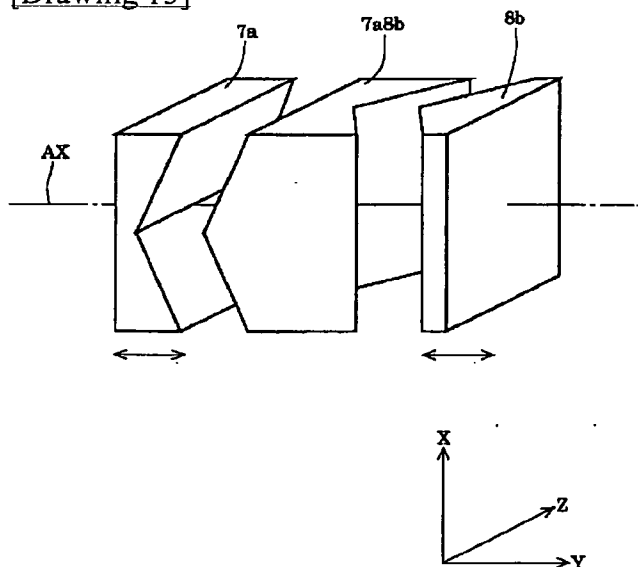
[Drawing 16]



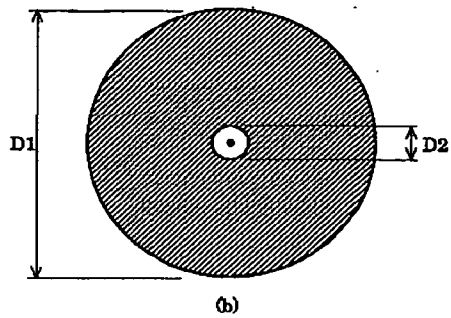
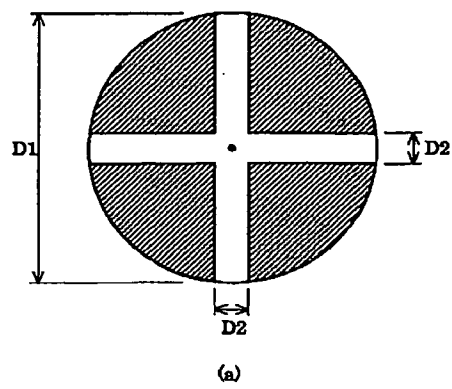
[Drawing 21]



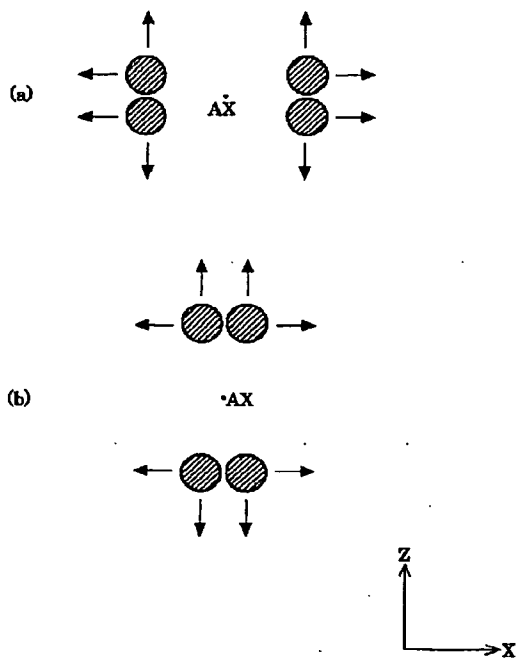
[Drawing 15]



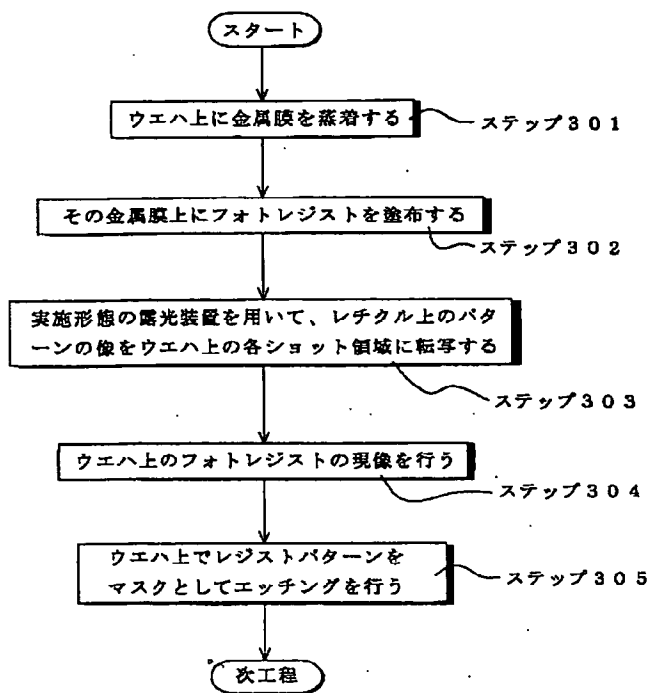
[Drawing 17]



[Drawing 19]



[Drawing 20]



[Translation done.]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2003-297727

(P2003-297727A)

(43) 公開日 平成15年10月17日 (2003.10.17)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テームコード* (参考)
H 0 1 L 21/027		G 0 2 B 19/00	2 H 0 5 2
G 0 2 B 19/00		G 0 3 F 7/20	5 0 2 2 H 0 9 7
G 0 3 F 7/20	5 0 2	H 0 1 L 21/30	5 1 5 D 5 F 0 4 6

審査請求 未請求 請求項の数18 O L (全 23 頁)

(21) 出願番号 特願2002-100852(P2002-100852)

(22) 出願日 平成14年4月3日 (2002.4.3)

(71) 出願人 00004112

株式会社ニコン

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号

(72) 発明者 金山谷 信道

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株式会社ニコン内

(74) 代理人 100095256

弁理士 山口 孝雄

Fターム(参考) 2H052 BA02 BA03 BA07 BA12

2H097 CA13 CB00 LA10

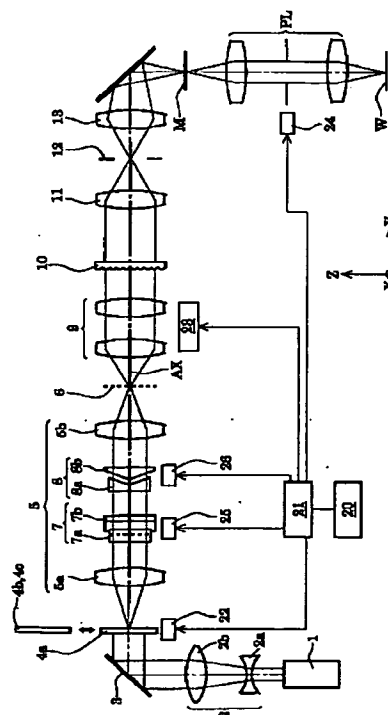
5F046 BA04 CA07 CB10 CB13 CB23

(54) 【発明の名称】 照明光学装置、露光装置および露光方法

(57) 【要約】

【課題】 被照射面上の直交する二方向で互いに異なる照明条件を実現することのできる照明光学装置。

【解決手段】 光源手段(1)とオプティカルインテグレータ(10)との間の光路中に配置された第1アキシコン系(7)と、第1アキシコン系とオプティカルインテグレータとの間の光路中に配置された第2アキシコン系(8)とを備えている。第1アキシコン系は、光源手段側から順に、少なくとも光軸に沿って移動可能に構成された第1プリズム(7a)と、光軸に沿って固定された第2プリズム(7b)とを有する。第2アキシコン系は、光源手段側から順に、少なくとも光軸に沿って固定された第3プリズム(8a)と、光軸に沿って移動可能に構成された第4プリズム(8b)とを有する。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 光源手段からの光束に基づいて二次光源を形成するためのオプティカルインテグレータと、該オプティカルインテグレータからの光束を被照射面へ導くための導光光学系とを備えた照明光学装置において、前記光源手段と前記オプティカルインテグレータとの間の光路中に配置され、前記オプティカルインテグレータへの入射光束の入射角度と入射位置との少なくとも一方を変化させるための第 1 アキシコン系と、前記第 1 アキシコン系と前記オプティカルインテグレータとの間の光路中に配置され、前記オプティカルインテグレータへの入射光束の入射角度と入射位置との少なくとも一方を変化させるための第 2 アキシコン系とを備え、

前記第 1 アキシコン系は、前記光源手段側から順に、少なくとも光軸に沿って移動可能に構成された第 1 プリズムと、光軸に沿って固定され且つ前記第 1 プリズムの屈折面と相補的に形成された屈折面を有する第 2 プリズムとを有し、

前記第 2 アキシコン系は、前記光源手段側から順に、少なくとも光軸に沿って固定された第 3 プリズムと、光軸に沿って移動可能に構成され且つ前記第 3 プリズムの屈折面と相補的に形成された屈折面を有する第 4 プリズムとを有することを特徴とする照明光学装置。

【請求項 2】 前記第 2 プリズムと前記第 3 プリズムとは一体的に形成されていることを特徴とする請求項 1 に記載の照明光学装置。

【請求項 3】 前記第 1 プリズムは凹状断面の屈折面を有し、前記第 2 プリズムは前記第 1 プリズムの前記凹状断面の屈折面と相補的に形成された凸状断面の屈折面を有し、前記第 3 プリズムは凹状断面の屈折面を有し、前記第 4 プリズムは前記第 3 プリズムの前記凹状断面の屈折面と相補的に形成された凸状断面の屈折面を有することを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の照明光学装置。

【請求項 4】 前記第 1 プリズムは、光軸と直交する第 1 方向に沿って稜線を有する V 字状の屈折面を有し、前記第 1 プリズムは、光軸および前記第 1 方向と直交する第 2 方向に沿って稜線を有する V 字状の屈折面を有することを特徴とする請求項 3 に記載の照明光学装置。

【請求項 5】 前記第 1 プリズムおよび前記第 3 プリズムの一方は、光軸を中心とする円錐状の屈折面を有し、前記第 1 プリズムおよび前記第 3 プリズムの他方は、光軸と直交する方向に沿って稜線を有する V 字状の屈折面を有することを特徴とする請求項 3 に記載の照明光学装置。

【請求項 6】 光源手段からの光束に基づいて二次光源を形成するためのオプティカルインテグレータと、前記オプティカルインテグレータからの光束を被照射面へ導くための導光光学系と、

前記光源手段と前記オプティカルインテグレータとの間の光路中に配置され、前記オプティカルインテグレータへの入射光束の入射角度と入射位置との少なくとも一方を変化させるためのアキシコン系とを備え、

前記アキシコン系は、円錐状または V 字状の凹状断面の屈折面を有する第 1 プリズムと、該第 1 プリズムの屈折面と相補的に形成された円錐状または V 字状の凸状断面の屈折面を有する第 2 プリズムとを有し、

前記アキシコン系は、照明瞳の近傍において前記円錐状の屈折面の頂点に対応して形成される円形状の影領域の直径または前記 V 字状の屈折面の稜線に対応して形成される直線状の影領域の幅が光束全体の大きさの $1/10$ 以下にするための所要の形状および特性を有することを特徴とする照明光学装置。

【請求項 7】 前記光源手段からの光束を所定の断面形状を有する光束または所定の光強度分布を有する光束に変換するための光束変換素子と、

前記光束変換素子と前記オプティカルインテグレータとの間の光路中に配置された第 1 光学系と、

前記第 1 光学系と前記オプティカルインテグレータとの間の光路中に配置された第 2 光学系とをさらに備え、

前記アキシコン系は、前記第 1 光学系の光路中において前記照明瞳の近傍に配置されていることを特徴とする請求項 6 に記載の照明光学装置。

【請求項 8】 前記光束変換素子としての回折光学素子の最大回折角を ψ_{max} とし、前記第 1 プリズムの屈折面と前記第 2 プリズムの屈折面との光軸に沿った間隔を l とし、前記円錐状の屈折面の頂角または前記 V 字状の屈折面の交差角を 2θ とし、前記第 1 プリズムおよび前記第 2 プリズムを形成する光学材料の前記光束に対する屈折率を n とし、前記第 1 光学系のうちの前記アキシコン系よりも前記光源手段側に配置された第 1 レンズ群の焦点距離を f_1 としたとき、

$$AL \leq (f_1 \times \sin \psi_{max}) / 10$$

ただし、

$$A = (\tan \alpha \times \tan \theta) / (\tan \theta - \tan \alpha)$$

$$\alpha = \sin^{-1} (n \times \cos \theta) + \theta - 90 \text{ (単位: 度)}$$

の条件を満足することを特徴とする請求項 7 に記載の照明光学装置。

【請求項 9】 光源手段からの光束に基づいて二次光源を形成するためのオプティカルインテグレータと、前記オプティカルインテグレータからの光束を被照射面へ導くための導光光学系と、

前記光源手段と前記オプティカルインテグレータとの間の光路中に配置され、前記オプティカルインテグレータへの入射光束の入射角度と入射位置との少なくとも一方を変化させるための蛍石で形成されたアキシコン系とを備えていることを特徴とする照明光学装置。

【請求項 10】 前記光源手段は、 200 nm 以下の波長を有する光を供給することを特徴とする請求項 9 に記

載の照明光学装置。

【請求項 11】 前記アキシコン系は、光軸と直交する方向に沿って稜線を有する V 字状の凹状断面の屈折面を有する第 1 プリズムと、前記第 1 プリズムの前記凹状断面の屈折面と相補的に形成された V 字状の凸状断面の屈折面を有する第 2 プリズムとを有し、前記第 1 プリズムは、光軸と前記稜線とを含む面に沿って分割されていることを特徴とする請求項 9 または 10 に記載の照明光学装置。

【請求項 12】 光源手段からの光束に基づいて被照射面を照明する照明光学装置において、所定方向に沿って稜線を有する V 字状の凹状断面の屈折面を有するプリズムを備え、前記プリズムは、前記稜線を含む所定の面に沿って分割されていることを特徴とする照明光学装置。

【請求項 13】 前記光源手段からの光束に基づいて二次光源を形成するためのオプティカルインテグレートと、前記オプティカルインテグレートからの光束を前記被照射面へ導くための導光光学系と、前記光源手段と前記オプティカルインテグレートとの間の光路中に配置され、前記オプティカルインテグレートへの入射光束の入射角度と入射位置との少なくとも一方を変化させるための前記プリズムを含むアキシコン系とをさらに備えていることを特徴とする請求項 12 に記載の照明光学装置。

【請求項 14】 前記アキシコン系は、光軸と直交する方向に沿って前記稜線を有する V 字状の凹状断面の屈折面を有する前記プリズムと、前記プリズムの前記凹状断面の屈折面と相補的に形成された V 字状の凸状断面の屈折面を有する第 2 プリズムとを有し、前記プリズムは光軸と前記稜線とを含む面に沿って分割されていることを特徴とする請求項 13 に記載の照明光学装置。

【請求項 15】 被照射面を照明する照明光学装置において、光源手段からの光束に基づいて 4 極状の光強度分布を有する二次光源を照明瞳面に形成するために、前記光源手段からの光束を 4 つの光束に変換するための光束変換素子と、前記光束変換素子と前記照明瞳面との間の光路中に配置されて、前記二次光源を構成する 4 つの実質的な面光源のうちの一方の一对と他方の一对とを光軸を挟んで対称的に移動させるためのアキシコン系とを備え、前記光束変換素子は、光軸と直交する第 1 方向に沿って細長く延びた長方形の各隅点を中心として前記 4 つの実質的な面光源の各々を形成することを特徴とする照明光学装置。

【請求項 16】 前記アキシコン系は、前記第 1 方向に沿って稜線を有する V 字状の凹状断面の屈折面を有する第 1 プリズムと、前記第 1 プリズムの前記凹状断面の屈

折面と相補的に形成された V 字状の凸状断面の屈折面を有する第 2 プリズムとを有する第 1 アキシコン系と、光軸および前記第 1 方向と直交する第 2 方向に沿って稜線を有する V 字状の凹状断面の屈折面を有する第 3 プリズムと、前記第 3 プリズムの前記凹状断面の屈折面と相補的に形成された V 字状の凸状断面の屈折面を有する第 4 プリズムとを有する第 2 アキシコン系とを有することを特徴とする請求項 15 に記載の照明光学装置。

【請求項 17】 請求項 1 乃至 16 のいずれか 1 項に記載の照明光学装置と、前記被照射面に配置されたマスクのパターンを感光性基板上に投影露光するための投影光学系とを備えていることを特徴とする露光装置。

【請求項 18】 請求項 1 乃至 16 のいずれか 1 項に記載の照明光学装置を介してマスクを照明し、照明された前記マスクに形成されたパターンを感光性基板上に投影露光することを特徴とする露光方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は照明光学装置および該照明光学装置を備えた露光装置に関し、特に半導体素子、撮像素子、液晶表示素子、薄膜磁気ヘッド等のマイクロデバイスをリソグラフィ工程で製造するための露光装置に好適な照明光学装置に関する。

【0002】

【従来の技術】この種の典型的な露光装置においては、光源から射出された光束が、オプティカルインテグレートとしてのフライアイレンスを介して、多数の光源からなる実質的な面光源としての二次光源を形成する。二次光源からの光束は、フライアイレンスの後側焦点面の近傍に配置された開口絞りを介して制限された後、コンデンサーレンズに入射する。

【0003】コンデンサーレンズにより集光された光束は、所定のパターンが形成されたマスクを重畳的に照明する。マスクのパターンを透過した光は、投影光学系を介してウェハ上に結像する。こうして、ウェハ上には、マスクパターンが投影露光（転写）される。なお、マスクに形成されたパターンは高集積化されており、この微細パターンをウェハ上に正確に転写するにはウェハ上において均一な照度分布を得ることが不可欠である。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】そこで、フライアイレンスの後側焦点面に円形状の二次光源を形成し、その大きさを変化させて照明のコヒーレンシ σ (σ 値 = 開口絞り径 / 投影光学系の瞳径、あるいは σ 値 = 照明光学系の射出側開口数 / 投影光学系の入射側開口数) を変化させる技術が注目されている。また、フライアイレンスの後側焦点面に輪帯状や 4 極状の二次光源を形成し、投影光学系の焦点深度や解像力を向上させる技術が注目されている。

【0005】しかしながら、上述のような従来技術で

は、円形状の二次光源に基づく通常の円形照明の場合も、輪帯状や4極状の二次光源に基づく変形照明（輪帯照明や4極照明）の場合も、被照射面であるマスク上の一点に入射する光束の断面形状がマスク上の直交する二方向に関して同じ位置関係にある。換言すると、従来技術では、被照射面上の直交する二方向で照明条件が同じである。その結果、マスクパターンに方向性がある場合、マスク上の直交する二方向で最適な照明条件を実現することができない。

【0006】本発明は、前述の課題に鑑みてなされたものであり、被照射面上の直交する二方向で互いに異なる照明条件を実現することのできる照明光学装置を提供することを目的とする。また、本発明は、被照射面上の直交する二方向で互いに異なる照明条件を実現することのできる照明光学装置を用いて、パターンに方向性があるマスク上の直交する二方向で最適な照明条件を設定することのできる露光装置および露光方法を提供することを目的とする。

【0007】

【課題を解決するための手段】前記課題を解決するために、本発明の第1発明では、光源手段からの光束に基づいて二次光源を形成するためのオプティカルインテグレートと、該オプティカルインテグレートからの光束を被照射面へ導くための導光光学系とを備えた照明光学装置において、前記光源手段と前記オプティカルインテグレートとの間の光路中に配置され、前記オプティカルインテグレートへの入射光束の入射角度と入射位置との少なくとも一方を変化させるための第1アキシコン系と、前記第1アキシコン系と前記オプティカルインテグレートとの間の光路中に配置され、前記オプティカルインテグレートへの入射光束の入射角度と入射位置との少なくとも一方を変化させるための第2アキシコン系とを備え、前記第1アキシコン系は、前記光源手段側から順に、少なくとも光軸に沿って移動可能に構成された第1プリズムと、光軸に沿って固定され且つ前記第1プリズムの屈折面と相補的に形成された屈折面を有する第2プリズムとを有し、前記第2アキシコン系は、前記光源手段側から順に、少なくとも光軸に沿って固定された第3プリズムと、光軸に沿って移動可能に構成され且つ前記第3プリズムの屈折面と相補的に形成された屈折面を有する第4プリズムとを有することを特徴とする照明光学装置を提供する。この場合、前記第2プリズムは固定され、且つ前記第3プリズムは固定されていることが好ましい。

【0008】第1発明の好ましい態様によれば、前記第2プリズムと前記第3プリズムとは一体的に形成されている。また、前記第1プリズムは凹状断面の屈折面を有し、前記第2プリズムは前記第1プリズムの前記凹状断面の屈折面と相補的に形成された凸状断面の屈折面を有し、前記第3プリズムは凹状断面の屈折面を有し、前記第4プリズムは前記第3プリズムの前記凹状断面の屈折

面と相補的に形成された凸状断面の屈折面を有することが好ましい。

【0009】この場合、前記第1プリズムは、光軸と直交する第1方向に沿って稜線を有するV字状の屈折面を有し、前記第1プリズムは、光軸および前記第1方向と直交する第2方向に沿って稜線を有するV字状の屈折面を有することが好ましい。あるいは、前記第1プリズムおよび前記第3プリズムの一方は、光軸を中心とする円錐状の屈折面を有し、前記第1プリズムおよび前記第3プリズムの他方は、光軸と直交する方向に沿って稜線を有するV字状の屈折面を有することが好ましい。

【0010】本発明の第2発明では、光源手段からの光束に基づいて二次光源を形成するためのオプティカルインテグレートと、前記オプティカルインテグレートからの光束を被照射面へ導くための導光光学系と、前記光源手段と前記オプティカルインテグレートとの間の光路中に配置され、前記オプティカルインテグレートへの入射光束の入射角度と入射位置との少なくとも一方を変化させるためのアキシコン系とを備え、前記アキシコン系は、円錐状またはV字状の凹状断面の屈折面を有する第1プリズムと、該第1プリズムの屈折面と相補的に形成された円錐状またはV字状の凸状断面の屈折面を有する第2プリズムとを有し、前記アキシコン系は、照明瞳の近傍において前記円錐状の屈折面の頂点に対応して形成される円形状の影領域の直径または前記V字状の屈折面の稜線に対応して形成される直線状の影領域の幅が光束全体の大きさの1/10以下にするための所要の形状および特性を有することを特徴とする照明光学装置を提供する。

【0011】第2発明の好ましい態様によれば、前記光源手段からの光束を所定の断面形状を有する光束または所定の光強度分布を有する光束に変換するための光束変換素子と、前記光束変換素子と前記オプティカルインテグレートとの間の光路中に配置された第1光学系と、前記第1光学系と前記オプティカルインテグレートとの間の光路中に配置された第2光学系とをさらに備え、前記アキシコン系は、前記第1光学系の光路中において前記照明瞳の近傍に配置されている。

【0012】この場合、前記光束変換素子としての回折光学素子の最大回折角を ψ_{max} とし、前記第1プリズムの屈折面と前記第2プリズムの屈折面との光軸に沿った間隔をLとし、前記円錐状の屈折面の頂角または前記V字状の屈折面の交差角を 2θ とし、前記第1プリズムおよび前記第2プリズムを形成する光学材料の前記光束に対する屈折率をnとし、前記第1光学系のうちの前記アキシコン系よりも前記光源手段側に配置された第1レンズ群の焦点距離を f_1 としたとき、 $AL \leq (f_1 \times \sin \psi_{max}) / 10$

ただし、

$$A = (\tan \alpha \times \tan \theta) / (\tan \theta - \tan \alpha)$$

$\alpha = \sin^{-1} (n \times \cos \theta) + \theta - 90$ (単位: 度)
 の条件を満足することが好ましい。

【0013】本発明の第3発明では、光源手段からの光束に基づいて二次光源を形成するためのオプティカルインテグレータと、前記オプティカルインテグレータからの光束を被照射面へ導くための導光光学系と、前記光源手段と前記オプティカルインテグレータとの間の光路中に配置され、前記オプティカルインテグレータへの入射光束の入射角度と入射位置との少なくとも一方を変化させるための蛍石で形成されたアキシコン系とを備えていることを特徴とする照明光学装置を提供する。

【0014】第3発明の好ましい態様によれば、前記光源手段は、200nm以下の波長を有する光を供給する。また、前記アキシコン系は、光軸と直交する方向に沿って稜線を有するV字状の凹状断面の屈折面を有する第1プリズムと、前記第1プリズムの前記凹状断面の屈折面と相補的に形成されたV字状の凸状断面の屈折面を有する第2プリズムとを有し、前記第1プリズムは、光軸と前記稜線とを含む面に沿って分割されていることが好ましい。

【0015】本発明の第4発明では、光源手段からの光束に基づいて被照射面を照明する照明光学装置において、所定方向に沿って稜線を有するV字状の凹状断面の屈折面を有するプリズムを備え、前記プリズムは、前記稜線を含む所定の面に沿って分割されていることを特徴とする照明光学装置を提供する。

【0016】第4発明の好ましい態様によれば、前記光源手段からの光束に基づいて二次光源を形成するためのオプティカルインテグレータと、前記オプティカルインテグレータからの光束を前記被照射面へ導くための導光光学系と、前記光源手段と前記オプティカルインテグレータとの間の光路中に配置され、前記オプティカルインテグレータへの入射光束の入射角度と入射位置との少なくとも一方を変化させるための前記プリズムを含むアキシコン系とをさらに備えている。この場合、前記アキシコン系は、光軸と直交する方向に沿って前記稜線を有するV字状の凹状断面の屈折面を有する前記プリズムと、前記プリズムの前記凹状断面の屈折面と相補的に形成されたV字状の凸状断面の屈折面を有する第2プリズムとを有し、前記プリズムは光軸と前記稜線とを含む面に沿って分割されていることが好ましい。

【0017】本発明の第5発明では、被照射面を照明する照明光学装置において、光源手段からの光束に基づいて4極状の光強度分布を有する二次光源を照明瞳面に形成するために、前記光源手段からの光束を4つの光束に変換するための光束変換素子と、前記光束変換素子と前記照明瞳面との間の光路中に配置されて、前記二次光源を構成する4つの実質的な面光源のうちの一方の一对と他方の一对とを光軸を挟んで対称的に移動させるためのアキシコン系とを備え、前記光束変換素子は、光軸と直

交する第1方向に沿って細長く延びた長方形の各隅点を中心として前記4つの実質的な面光源の各々を形成することを特徴とする照明光学装置を提供する。

【0018】第5発明の好ましい態様によれば、前記アキシコン系は、前記第1方向に沿って稜線を有するV字状の凹状断面の屈折面を有する第1プリズムと、前記第1プリズムの前記凹状断面の屈折面と相補的に形成されたV字状の凸状断面の屈折面を有する第2プリズムとを有する第1アキシコン系と、光軸および前記第1方向と直交する第2方向に沿って稜線を有するV字状の凹状断面の屈折面を有する第3プリズムと、前記第3プリズムの前記凹状断面の屈折面と相補的に形成されたV字状の凸状断面の屈折面を有する第4プリズムとを有する第2アキシコン系とを有する。

【0019】本発明の第6発明では、第1発明～第5発明の照明光学装置と、前記被照射面に配置されたマスクのパターンを感光性基板に投影露光するための投影光学系とを備えていることを特徴とする露光装置を提供する。

【0020】本発明の第7発明では、第1発明～第5発明の照明光学装置を介してマスクを照明し、照明された前記マスクに形成されたパターンを感光性基板上に投影露光することを特徴とする露光方法を提供する。

【0021】

【発明の実施の形態】本発明の一態様によれば、第1アキシコン系は、光軸に沿って移動可能に構成された第1プリズムと光軸に沿って固定された第2プリズムとを有し、第2アキシコン系は、光軸に沿って固定された第3プリズムと、光軸に沿って移動可能に構成された第4プリズムとを有する。換言すれば、第1アキシコン系および第2アキシコン系を構成する4つのプリズムのうち、外側に配置された2つのプリズムが光軸に沿って移動可能に構成され、内側に配置された2つのプリズムが光軸に沿って固定されている。

【0022】その結果、本発明では、第1プリズムを光軸に沿って移動させるための第1移動機構と、第4プリズムを光軸に沿って移動させるための第2移動機構との間隔が十分に大きく確保されるので、移動機構同士の機械的な干渉を確実に回避することができ、ひいてはコンパクトな全体構成を実現することができる。なお、この場合、光軸に沿って固定された内側の2つのプリズムを一体的に1つのプリズムとして形成することが好ましい。この構成により、アキシコン系における光の透過率を向上させるとともに、プリズム部材の製造誤差および位置決め誤差を抑えることができ、ひいては高精度で高性能なアキシコン系を実現することができる。

【0023】本発明の別の態様によれば、アキシコン系は、円錐状またはV字状の凹状断面の屈折面を有する第1プリズムと、円錐状またはV字状の凸状断面の屈折面を有する第2プリズムとを有する。そして、アキシコ

ン系は、照明瞳の近傍において円錐状の屈折面の頂点に対応して形成される円形状の影領域の直径またはV字状の屈折面の稜線に対応して形成される直線状の影領域の幅が光束全体の大きさの1/10以下にするための所要の形状および特性を有する。その結果、本発明では、直線状の影領域や円形状の影領域の影響を実質的に受けることなく、照明瞳において所望の光強度分布を得ることができる。

【0024】いずれの態様においても、本発明の照明光学装置では、アキシコン系の作用により4極状や輪帯状の二次光源を適宜変化させて、被照射面上の直交する二方向で互いに異なる照明条件を実現することができる。また、本発明の露光装置および露光方法では、被照射面上の直交する二方向で互いに異なる照明条件を実現することのできる照明光学装置を用いて、パターンに方向性があるマスク上の直交する二方向で最適な照明条件を設定することができ、良好な照明条件のもとで良好なマイクロデバイスを製造することができる。

【0025】本発明の実施形態を、添付図面に基づいて説明する。図1は、本発明の第1実施形態にかかる照明光学装置を備えた露光装置の構成を概略的に示す図である。図1において、感光性基板であるウェハの法線方向に沿ってZ軸を、ウェハ面内において図1の紙面に平行な方向にY軸を、ウェハ面内において図1の紙面に垂直な方向にX軸をそれぞれ設定している。なお、図1では、照明光学装置が4極照明を行うように設定されている。

【0026】図1の露光装置は、露光光（照明光）を供給するための光源1として、たとえば248nmの波長の光を供給するKrFエキシマレーザー光源または193nmの波長の光を供給するArFエキシマレーザー光源を備えている。光源1からZ方向に沿って射出されたほぼ平行光束は、X方向に沿って細長く伸びた矩形形状の断面を有し、一對のレンズ2aおよび2bからなるビームエキスパンダー2に入射する。各レンズ2aおよび2bは、図1の紙面内（YZ平面内）において負の屈折力および正の屈折力をそれぞれ有する。したがって、ビームエキスパンダー2に入射した光束は、図1の紙面内において拡大され、所定の矩形形状の断面を有する光束に整形される。

【0027】整形光学系としてのビームエキスパンダー2を介したほぼ平行な光束は、折り曲げミラー3でY方向に偏向された後、4極照明用の回折光学素子（DOE）4aに入射する。一般に、回折光学素子は、ガラス基板に露光光（照明光）の波長程度のピッチを有する段差を形成することによって構成され、入射ビームを所望の角度に回折する作用を有する。回折光学素子4aは、矩形形状の断面を有する平行光束が入射した場合、そのファーストフィールド（フラウンホーファー回折領域）において4極状の光強度分布を形成する機能を有する。このよ

うに、回折光学素子4aは、光源1からの光束を4極状の光束に変換するための光束変換素子を構成している。

【0028】なお、回折光学素子4aは、照明光路に対して挿脱自在に構成され、輪帯照明用の回折光学素子4aや通常円形照明用の回折光学素子4cと切り換え可能に構成されている。輪帯照明用の回折光学素子4bおよび通常円形照明用の回折光学素子4cの構成および作用については後述する。具体的には、回折光学素子4aは、光軸AXに平行な所定の軸線回りに回転可能なターレット基板（回転板：図1では不図示）上に支持されている。ターレット基板には、特性の異なる複数の4極照明用の回折光学素子4a、特性の異なる複数の輪帯照明用の回折光学素子4b、および特性の異なる複数の円形照明用の回折光学素子4cが円周方向に沿って設けられている。

【0029】また、ターレット基板は、その中心点を通り光軸AXに平行な軸線回りに回転可能に構成されている。したがって、ターレット基板を回転させることにより、多数の回折光学素子4a～4cから選択された所望の回折光学素子を照明光路中に位置決めすることができる。なお、ターレット基板の回転（ひいては回折光学素子4aと4bと4cとの間の切り換え）は、制御系21からの指令に基づいて動作する第1駆動系22により行われる。ただし、ターレット方式に限定されることなく、たとえば周知のスライド方式により回折光学素子4aと4bと4cとの間の切り換えを行うこともできる。

【0030】回折光学素子4aを介した光束は、アフォーカルレンズ（リレー光学系：第1光学系）5に入射する。アフォーカルレンズ5は、その前側焦点位置と回折光学素子4aの位置とがほぼ一致し且つその後側焦点位置と図中破線で示す所定面6の位置とがほぼ一致するように設定されたアフォーカル系（無焦点光学系）である。したがって、回折光学素子4aに入射したほぼ平行光束は、アフォーカルレンズ5の瞳面に4極状の光強度分布を形成した後、ほぼ平行光束となってアフォーカルレンズ5から射出される。

【0031】なお、アフォーカルレンズ5の前側レンズ群（第1レンズ群）5aと後側レンズ群（第2レンズ群）5bとの間の光路中には、光源側から順に、第1V溝アキシコン系7および第2V溝アキシコン系8が配置されているが、その詳細な構成および作用については後述する。以下、説明を簡単にするために、これらのアキシコン系7および8の作用を無視して、第1実施形態の基本的な構成および作用を説明する。

【0032】アフォーカルレンズ5を介した光束は、 σ 値可変用のズームレンズ（変倍光学系：第2光学系）9を介して、オブティカルインテグレータとしてのマイクロレンズアレイ（またはフライアイレンズ）10に入射する。マイクロレンズアレイ10は、縦横に且つ稠密に配列された多数の正屈折力を有する微小レンズからなる

10

20

30

40

50

光学素子である。一般に、マイクロレンズアレイは、たとえば平行平面ガラス板にエッチング処理を施して微小レンズ群を形成することによって構成される。

【0033】ここで、マイクロレンズアレイを構成する各微小レンズは、フライアイレンズを構成する各レンズエレメントよりも微小である。また、マイクロレンズアレイは、互いに隔絶されたレンズエレメントからなるフライアイレンズとは異なり、多数の微小レンズが互いに隔絶されることなく一体的に形成されている。しかしながら、正屈折力を有するレンズ要素が縦横に配置されて

いる点でマイクロレンズアレイはフライアイレンズと同じである。なお、図1では、図面の明瞭化のために、マイクロレンズアレイ10を構成する微小レンズの数を実際よりも非常に少なく表している。

【0034】なお、 σ 値とは、投影光学系PLの瞳の大きさ(直径)を $R1$ とし、投影光学系PLの瞳に形成される照明光束または光源像の大きさ(直径)を $R2$ とし、投影光学系PLのマスク(レチクル)M側の開口数を NA_o とし、マスク(レチクル)Mを照明する照明光学系の開口数を NA_i とすると、 $\sigma = NA_i / NA_o = R2 / R1$ として定義される。

【0035】但し、輪帯照明の場合、 $R2$ は投影光学系PLの瞳に形成される輪帯状の照明光束または輪帯状の光源像の外径であり、 NA_i は照明光学系の瞳に形成される輪帯光束の外径によって定められる開口数である。また、4極照明等の多極照明の場合、 $R2$ は投影光学系PLの瞳に形成される多極状の照明光束または多極状の光源像に外接する円の大きさまたは直径であり、 NA_i は照明光学系の瞳に形成される多極状の照明光束に外接する円の大きさまたは直径によって定められる開口数である。また、輪帯照明の場合、輪帯比とは、輪帯状の照明光束の外径を R_o 、輪帯状の照明光束の内径を R_i とすると、 R_i / R_o で定義される。

【0036】なお、所定面6の位置はズームレンズ9の前側焦点位置の近傍に配置され、マイクロレンズアレイ10の入射面はズームレンズ9の後側焦点位置の近傍に配置されている。換言すると、ズームレンズ9は、所定面6とマイクロレンズアレイ10の入射面とを実質的にフーリエ変換の関係に配置し、ひいてはアフォーカルレンズ5の瞳面とマイクロレンズアレイ10の入射面とを光学的にほぼ共役に配置している。したがって、マイクロレンズアレイ10の入射面上には、アフォーカルレンズ5の瞳面と同様に、たとえば光軸AXに対して偏心した4つの照野からなる4極状の照野を形成する。

【0037】ここで、4極状の照野を構成する各照野の形状は回折光学素子4aの特性に依存するが、ここでは4つの円形状の照野からなる4極状の照野が形成されるものとする。この4極状の照野の全体形状は、ズームレンズ9の焦点距離に依存して相似的に変化する。なお、ズームレンズ7の焦点距離の変化は、制御系21からの

指令に基づいて動作する第2駆動系23により行われる。

【0038】マイクロレンズアレイ10を構成する各微小レンズは、マスクM上において形成すべき照野の形状(ひいてはウェハW上において形成すべき露光領域の形状)と相似な矩形状の断面を有する。こうして、マイクロレンズアレイ10に入射した光束は多数の微小レンズにより二次元的に分割され、その後側焦点面(ひいては照明光学系の瞳)には、図2に示すように、マイクロレンズアレイ10への入射光束によって形成される照野とほぼ同じ光強度分布を有する二次光源、すなわち光軸AXに対して偏心した4つの円形状の実質的な面光源からなる4極状の二次光源が形成される。このように、マイクロレンズアレイ10は、光源1からの光束に基づいて多数光源を形成するためのオプティカルインテグレータを構成している。

【0039】マイクロレンズアレイ10の後側焦点面に形成された4極状の二次光源からの光束は、コンデンサー光学系11の集光作用を受けた後、照明視野絞りとしてのマスクブラインド12を重畳的に照明する。マスクブラインド12の矩形状の開口部(光透過部)を介した光束は、結像光学系13の集光作用を受けた後、マスクMを重畳的に照明する。マスクMのパターンを透過した光束は、投影光学系PLを介して、ウェハW上にマスクパターンの像を形成する。投影光学系PLの入射瞳面には投影光学系PLの開口数を規定するための可変開口絞りが設けられ、この可変開口絞りの駆動は制御系21からの指令に基づいて動作する第3駆動系24により行われる。

【0040】こうして、投影光学系PLの光軸AXと直交する平面(XY平面)内においてウェハWを二次元的に駆動制御しながら一括露光またはスキャン露光を行うことにより、ウェハWの各露光領域にはマスクMのパターンが逐次露光される。なお、一括露光では、いわゆるステップ・アンド・リピート方式にしたがって、ウェハの各露光領域に対してマスクパターンを一括的に露光する。この場合、マスクM上での照明領域の形状は正方形に近い矩形状であり、マイクロレンズアレイ10の各微小レンズの断面形状も正方形に近い矩形状となる。

【0041】一方、スキャン露光では、いわゆるステップ・アンド・スキャン方式にしたがって、マスクおよびウェハを投影光学系に対して相対移動させながらウェハの各露光領域に対してマスクパターンをスキャン露光する。この場合、マスクM上での照明領域の形状は短辺と長辺との比がたとえば1:3の矩形状であり、マイクロレンズアレイ10の各微小レンズの断面形状もこれと相似な矩形状となる。

【0042】図3は、第1実施形態においてアフォーカルレンズの前側レンズ群と後側レンズ群との間の光路中に配置された2つのアキシコン系の構成を概略的に示す

10

20

30

40

50

斜視図である。第1実施形態では、図3に示すように、アフォーカルレンズ5の前側レンズ群5aと後側レンズ群5bとの間の光路中に、光源側から順に、第1V溝アキシコン系7および第2V溝アキシコン系8が配置されている。

【0043】第1V溝アキシコン系7は、光源側に平面を向け且つマスク側に凹状で且つV字状の屈折面を向けた第1プリズム部材7aと、マスク側に平面を向け且つ光源側に凸状で且つV字状の屈折面を向けた第2プリズム部材7bとから構成されている。第1プリズム部材7aの凹状屈折面は2つの平面から構成され、その交線（稜線）はZ方向に沿って延びている。第2プリズム部材7bの凸状屈折面は、第1プリズム部材7aの凹状屈折面と互いに当接可能なように、換言すると第1プリズム部材7aの凹状屈折面と相補的に形成されている。

【0044】すなわち、第2プリズム部材7bの凸状屈折面も2つの平面から構成され、その交線（稜線）はZ方向に沿って延びている。また、第1プリズム部材7aが光軸AXに沿って移動可能に構成され、第2プリズム部材7bが光軸AXに沿って固定され、第1プリズム部材7aの凹状屈折面と第2プリズム部材7bの凸状屈折面との間隔が可変に構成されている。第1V溝アキシコン系7の間隔の変化は、制御系21からの指令に基づいて動作する第4駆動系25により行われる。

【0045】また、第2V溝アキシコン系8は、光源側に平面を向け且つマスク側に凹状でV字状の屈折面を向けた第1プリズム部材8aと、マスク側に平面を向け且つ光源側に凸状で且つV字状の屈折面を向けた第2プリズム部材8bとから構成されている。第1プリズム部材8aの凹状屈折面は2つの平面から構成され、その交線はX方向に沿って延びている。第2プリズム部材8bの凸状屈折面は、第1プリズム部材8aの凹状屈折面と相補的に形成されている。すなわち、第2プリズム部材8bの凸状屈折面も2つの平面から構成され、その交線はX方向に沿って延びている。

【0046】また、第1プリズム部材8aが光軸AXに沿って固定され、第2プリズム部材8bが光軸AXに沿って移動可能に構成され、第1プリズム部材8aの凹状屈折面と第2プリズム部材8bの凸状屈折面との間隔が可変に構成されている。第2V溝アキシコン系8の間隔の変化は、制御系21からの指令に基づいて動作する第5駆動系26により行われる。

【0047】ここで、対向する凹状屈折面と凸状屈折面とが互いに当接している状態では、第1V溝アキシコン系7および第2V溝アキシコン系8は平行平板として機能し、形成される4極状の二次光源に及ぼす影響はない。しかしながら、第1V溝アキシコン系7は、凹状屈折面と凸状屈折面とを離間させると、Z方向に沿って平行平板として機能するが、X方向に沿ってビームエキスパンダーとして機能する。また、第2V溝アキシコン

系8は、凹状屈折面と凸状屈折面とを離間させると、X方向に沿って平行平板として機能するが、Z方向に沿ってビームエキスパンダーとして機能する。

【0048】図4は、第1実施形態の4極照明において形成される二次光源に対するズームレンズの作用を説明する図である。第1実施形態の4極照明では、ズームレンズ9の焦点距離が変化すると、4つの円形状の面光源42a～42dから構成される4極状の二次光源の全体形状が相似的に変化する。すなわち、4極状の二次光源を構成する円形状の各面光源42a～42dが、円形状を維持したまま光軸AXを中心とした円の径方向に沿って移動する。

【0049】そして、変化前の各面光源42a～42dの中心点と変化後の各面光源43a～43dの中心点とを結ぶ線分は光軸AXを通り、中心点の移動距離および移動の向きはズームレンズ9の焦点距離の変化に依存する。また、変化前の各面光源42a～42dを光軸AXから見込む角度と、変化後の各面光源43a～43dを光軸AXから見込む角度とが等しい。こうして、ズームレンズ9の焦点距離を変化させることにより、4極状の二次光源の輪帯比（4つの面光源に内接する円の直径／4つの面光源に外接する円の直径）を変化させることなくその外径（4つの面光源に外接する円の直径）だけを変更することができる。

【0050】図5は、第1実施形態の4極照明において形成される二次光源に対する第1V溝アキシコン系および第2V溝アキシコン系の作用を説明する図である。第1V溝アキシコン系7の間隔の変化に伴って、所定面6への入射光束のZ方向に沿った入射角度は変化しないが、所定面6への入射光束のX方向に沿った入射角度は変化する。その結果、図5(a)に示すように、4つの円形状の面光源44a～44dは、Z方向には移動しないが、その形状および大きさを維持したままX方向に沿って光軸AXを挟んで対称に移動する。すなわち、第1V溝アキシコン系7の間隔が拡大すると、面光源44bおよび44cは-X方向に移動し、面光源44aおよび44dは+X方向に移動する。

【0051】一方、第2V溝アキシコン系8の間隔の変化に伴って、所定面6への入射光束のX方向に沿った入射角度は変化しないが、所定面6への入射光束のZ方向に沿った入射角度は変化する。その結果、図5(b)に示すように、4つの円形状の面光源44a～44dは、X方向には移動しないが、その形状および大きさを維持したままZ方向に沿って光軸AXを挟んで対称に移動する。すなわち、第2V溝アキシコン系8の間隔が拡大すると、面光源44aおよび44bは+Z方向に移動し、面光源44cおよび44dは-Z方向に移動する。

【0052】さらに、第1V溝アキシコン系7の間隔および第2V溝アキシコン系8の間隔がともに変化すると、所定面6への入射光束のX方向に沿った入射角度お

10

20

30

40

50

よびZ方向に沿った入射角度はともに変化する。その結果、図5(c)に示すように、各面光源44a~44dは、その形状および大きさを維持したままZ方向およびX方向に沿って光軸AXを挟んで対称に移動する。すなわち、第1V溝アキシコン系7の間隔および第2V溝アキシコン系8の間隔がともに拡大すると、面光源44aは+Z方向および+X方向に移動し、面光源44bは+Z方向および-X方向に移動し、面光源44cは-Z方向および-X方向に移動し、面光源44dは-Z方向および+X方向に移動する。

【0053】こうして、第1V溝アキシコン系7、第2V溝アキシコン系8およびズームレンズ9の作用により、4極状の二次光源を構成する各面光源の位置を広範囲に亘って移動させることができ、且つその大きさを所定の範囲に亘って変化させることができる。しかしながら、実際には、第1V溝アキシコン系7や第2V溝アキシコン系8による各面光源の移動比率（すなわち移動先の面光源の座標位置に対する移動元の面光源の座標位置）には光学設計上の制約があり、各面光源の移動範囲には制限がある。

【0054】そこで、第1実施形態では、4極照明用の回折光学素子4aとして、特性の異なる3種類の回折光学素子を備えている。すなわち、第1の4極照明用回折光学素子により、4つの面光源の中心点を結んで形成される四角形が正方形になるような4極状の二次光源（図2を参照）が形成される。また、第2の4極照明用回折光学素子により、4つの面光源の中心点を結んで形成される四角形がX方向に沿って細長い長方形になるような4極状の二次光源が形成される。さらに、第3の4極照明用回折光学素子により、4つの面光源の中心点を結んで形成される四角形がZ方向に沿って細長い長方形になるような4極状の二次光源が形成される。

【0055】こうして、第1実施形態の4極照明では、第1V溝アキシコン系7や第2V溝アキシコン系8による各面光源の移動比率（ひいてはその移動範囲）が光学設計の観点からある程度制限される場合であっても、特性の異なる3種類の4極照明用回折光学素子を併用することにより、光軸AXを中心とする円環状の領域において各面光源の位置を自在に移動させることができる。

【0056】ところで、前述したように、回折光学素子4aは、照明光路に対して挿脱自在に構成され、且つ輪帯照明用の回折光学素子4bや通常円形照明用の回折光学素子4cと切り換え可能に構成されている。以下、回折光学素子4aに代えて回折光学素子4bを照明光路中に設定することによって得られる輪帯照明について簡単に説明する。

【0057】4極照明用の回折光学素子4aに代えて輪帯照明用の回折光学素子4bを照明光路中に設定すると、回折光学素子4bを介して輪帯状の光束が形成される。回折光学素子4bを介して形成された輪帯状の光束

は、アフォーカルレンズ5に入射し、瞳面にリング状の像（リング状の光源）を形成する。このリング状の像からの光は、ほぼ平行光束となってアフォーカルレンズ5から射出され、ズームレンズ9を介して、マイクロレンズアレイ10の入射面に、光軸AXを中心とした輪帯状の照野を形成する。その結果、マイクロレンズアレイ10の後側焦点面には、入射面に形成された照野とほぼ同じ光強度を有する二次光源、すなわち光軸AXを中心とした輪帯状の二次光源が形成される。

10 【0058】図6は、第1実施形態の輪帯照明において形成される二次光源に対するズームレンズの作用を説明する図である。第1実施形態の輪帯照明では、ズームレンズ9の焦点距離を増大させることにより、初期的に形成されていた輪帯状の二次光源60aが、その全体形状が相似的に拡大された輪帯状の二次光源60cに変化する。換言すると、輪帯状の二次光源は、ズームレンズ9の作用により、その輪帯比が変化することなく、その幅および大きさ（外径）がともに変化する。

20 【0059】図7は、第1実施形態の輪帯照明において形成される二次光源に対する第1V溝アキシコン系および第2V溝アキシコン系の作用を説明する図である。上述したように、第1V溝アキシコン系7の間隔の変化に伴って、所定面6への入射光束のZ方向に沿った入射角度は変化しないが、所定面6への入射光束のX方向に沿った入射角度は変化する。その結果、図7(a)に示すように、輪帯状の二次光源60aを構成する4つの四半円弧状の各面光源61~64は、Z方向には移動しないがX方向に沿って光軸AXを挟んで対称に移動する。すなわち、第1V溝アキシコン系7の間隔が拡大すると、面光源61および63は-X方向に移動し、面光源62および64は+X方向に移動する。

30 【0060】一方、第2V溝アキシコン系8の間隔の変化に伴って、所定面6への入射光束のX方向に沿った入射角度は変化しないが、所定面6への入射光束のZ方向に沿った入射角度は変化する。その結果、図7(b)に示すように、各面光源61~64は、X方向には移動しないがZ方向に沿って光軸AXを挟んで対称に移動する。すなわち、第2V溝アキシコン系8の間隔が拡大すると、面光源61および62は+Z方向に移動し、面光源63および64は-Z方向に移動する。

40 【0061】さらに、第1V溝アキシコン系7の間隔および第2V溝アキシコン系8の間隔がともに変化する、所定面6への入射光束のX方向に沿った入射角度およびZ方向に沿った入射角度はともに変化する。その結果、図7(c)に示すように、各面光源61~64は、Z方向およびX方向に沿って光軸AXを挟んで対称に移動する。すなわち、第1V溝アキシコン系7の間隔および第2V溝アキシコン系8の間隔が拡大すると、面光源61は+Z方向および-X方向に移動し、面光源62は+Z方向および+X方向に移動し、面光源63は-Z方

向および $-X$ 方向に移動し、面光源64は $-Z$ 方向および $+X$ 方向に移動する。こうして、4つの独立した円弧状の面光源からなる4極状の二次光源を形成することができる。

【0062】以上、第1実施形態の輪帯照明における第1V溝アキシコン系7および第2V溝アキシコン系8の作用とズームレンズ9の作用とを個別に説明したが、これらの光学部材の相互作用により様々な形態の輪帯照明が可能である。具体的には、図7(c)に示す状態において、ズームレンズ9を作用させると、たとえば面光源62は、光軸AXを中心とした円の径方向に沿って移動し、その全体形状が相似的に変化した面光源62aに変化する。

【0063】さらに、4極照明用の回折光学素子4aまたは輪帯照明用の回折光学素子4bに代えて円形照明用の回折光学素子4cを照明光路中に設定することによって得られる通常の円形照明について簡単に説明する。この場合、回折光学素子4cに入射したほぼ平行光束は、アフォーカルレンズ5の瞳面に円形状の光強度分布を形成した後、ほぼ平行光束となってアフォーカルレンズ5から射出される。

【0064】アフォーカルレンズ5を介した光束は、ズームレンズ9を介して、マイクロレンズアレイ10の入射面に、光軸AXを中心とした円形状の照野を形成する。その結果、マイクロレンズアレイ10の後側焦点面(すなわち照明光学系の瞳)には、その入射光束によって形成される照野とほぼ同じ光強度分布を有する二次光源、すなわち光軸AXを中心とした円形状の二次光源が形成される。

【0065】第1実施形態の円形照明では、初期的で形成された円形状の二次光源が、ズームレンズ9の焦点距離を増大させることにより、その全体形状が相似的に拡大された円形状の二次光源に変化する。換言すると、第1実施形態の円形照明では、ズームレンズ9の焦点距離を変化させることにより、円形状の二次光源の大きさ(外径)を変更することができる。

【0066】図8は、第1実施形態の円形照明において形成される二次光源に対する第1V溝アキシコン系および第2V溝アキシコン系の作用を説明する図である。第1実施形態の円形照明では、第1V溝アキシコン系7の間隔が拡大すると、図8(a)に示すように、円形状の二次光源を構成する4つの四半円状の面光源66a~66dのうち、面光源66aおよび66cは $-X$ 方向に移動し、面光源66bおよび66dは $+X$ 方向に移動する。

【0067】一方、第2V溝アキシコン系8の間隔が拡大すると、図8(b)に示すように、面光源66aおよび66bは $+Z$ 方向に移動し、面光源66cおよび66dは $-Z$ 方向に移動する。さらに、第1V溝アキシコン系7の間隔および第2V溝アキシコン系8の間隔がとも

に拡大すると、図8(c)に示すように、面光源66aは $+Z$ 方向および $-X$ 方向に移動し、面光源66bは $+Z$ 方向および $+X$ 方向に移動し、面光源66cは $-Z$ 方向および $-X$ 方向に移動し、面光源66dは $-Z$ 方向および $+X$ 方向に移動する。こうして、4つの独立した4半円状の面光源からなる4極状の二次光源を形成することができる。

【0068】以上、第1実施形態の円形照明における第1V溝アキシコン系7および第2V溝アキシコン系8の作用とズームレンズ9の作用とを個別に説明したが、これらの光学部材の相互作用により様々な形態の円形照明が可能である。しかしながら、実際には、光学設計上の制約により、ズームレンズ9による外径の変倍範囲には制限がある。そこで、第1実施形態では、円形照明用の回折光学素子4cとして、特性の異なる2種類の回折光学素子を備えている。

【0069】すなわち、第1実施形態では、一方の円形照明用回折光学素子により、比較的小さい σ 値すなわち小 σ から中間的な σ 値すなわち中 σ までの範囲で σ 値を変更するのに適した形状を有する円形状の二次光源を形成する。また、他方の円形照明用回折光学素子により、中 σ から比較的大きい σ 値すなわち大 σ までの範囲で σ 値を変更するのに適した形状を有する円形状の二次光源を形成する。その結果、2種類の円形照明用回折光学素子の併用により、小 σ から大 σ までの範囲(たとえば $0.1 \leq \sigma \leq 0.95$)で σ 値を変更することが可能になる。

【0070】以下、第1実施形態における照明条件の切り換え動作などについて具体的に説明する。まず、ステップ・アンド・リピート方式またはステップ・アンド・スキャン方式にしたがって順次露光すべき各種のマスクに関する情報などが、キーボードなどの入力手段20を介して制御系21に入力される。制御系21は、各種のマスクに関する最適な線幅(解像度)、焦点深度等の情報を内部のメモリ一部に記憶しており、入力手段20からの入力に応答して駆動系22~26に適当な制御信号を供給する。

【0071】すなわち、最適な解像度および焦点深度のもとで4極照明する場合、駆動系22は制御系21からの指令に基づいて4極照明用の回折光学素子4aを照明光路中に位置決めする。そして、所望の形態を有する4極状の二次光源を得るために、駆動系25および26は制御系21からの指令に基づいてアキシコン系7および8の間隔を設定し、駆動系23は制御系21からの指令に基づいてズームレンズ9の焦点距離を設定する。また、駆動系24は、制御系21からの指令に基づいて投影光学系PLの可変開口絞りを駆動する。

【0072】さらに、必要に応じて、駆動系25および26によりアキシコン系7および8の間隔を変化させたり、駆動系23によりズームレンズ9の焦点距離を変化

させたりすることにより、マイクロレンズアレイ 10 の後側焦点面に形成される 4 極状の二次光源の形態を適宜変更することができる。こうして、4 極状の二次光源の全体の大きさ（外径）および形状（輪帯比）、各面光源の位置、形状、大きさなどを適宜変化させて、多様な 4 極照明を行うことができる。

【0073】また、最適な解像度および焦点深度のもとで輪帯照明する場合、駆動系 22 は、制御系 21 からの指令に基づいて、輪帯照明用の回折光学素子 4b を照明光路中に位置決めする。そして、所望の形態を有する輪帯状の二次光源を得るために、あるいは輪帯状の二次光源から派生的に得られる 4 極状の二次光源または 2 極状の二次光源を得るために、駆動系 25 および 26 は制御系 21 からの指令に基づいてアキシコン系 7 および 8 の間隔を設定し、駆動系 23 は制御系 21 からの指令に基づいてズームレンズ 9 の焦点距離を設定する。また、駆動系 24 は、制御系 21 からの指令に基づいて投影光学系 PL の可変開口絞りを駆動する。

【0074】さらに、必要に応じて、駆動系 25 および 26 によりアキシコン系 7 および 8 の間隔を変化させたり、駆動系 23 によりズームレンズ 9 の焦点距離を変化させたりすることにより、マイクロレンズアレイ 10 の後側焦点面に形成される輪帯状の二次光源の形態、あるいは派生的に得られる 4 極状の二次光源または 2 極状の二次光源の形態を適宜変更することができる。こうして、輪帯状の二次光源の全体の大きさ（外径）および形状（輪帯比）、派生的に得られる各面光源の位置、形状、大きさなどを適宜変化させて、多様な輪帯照明を行うことができる。

【0075】さらに、最適な解像度および焦点深度のもとで通常の円形照明をする場合、駆動系 22 は、制御系 21 からの指令に基づいて、円形照明用の回折光学素子 4c を照明光路中に位置決めする。そして、所望の形態を有する円形状の二次光源を得るために、あるいは円形状の二次光源から派生的に得られる 4 極状の二次光源または 2 極状の二次光源を得るために、駆動系 25 および 26 は制御系 21 からの指令に基づいてアキシコン系 7 および 8 の間隔を設定し、駆動系 23 は制御系 21 からの指令に基づいてズームレンズ 9 の焦点距離を設定する。また、駆動系 24 は、制御系 21 からの指令に基づいて投影光学系 PL の可変開口絞りを駆動する。

【0076】さらに、必要に応じて、駆動系 25 および 26 によりアキシコン系 7 および 8 の間隔を変化させたり、駆動系 23 によりズームレンズ 9 の焦点距離を変化させたりすることにより、マイクロレンズアレイ 10 の後側焦点面に形成される円形状の二次光源の形態、あるいは派生的に得られる 4 極状の二次光源または 2 極状の二次光源の形態を適宜変更することができる。こうして、円形状の二次光源の全体の大きさ（ひいては σ 値）、派生的に得られる各面光源の位置、形状、大きさ

などを適宜変化させて、多様な円形照明を行うことができる。

【0077】なお、第 1 実施形態では、光源側から順に、第 1 V 溝アキシコン系 7 と、第 2 V 溝アキシコン系 8 とを配置しているが、この配置順序を適宜変化させることもできる。また、各アキシコン系 7 および 8 では、光源側から順に、凹状の屈折面を有する第 1 プリズム部材と凸状の屈折面を有する第 2 プリズム部材とを配置しているが、この配置順序を逆にすることもできる。

【0078】図 9 は、本発明の第 2 実施形態にかかる照明光学装置を備えた露光装置の構成を概略的に示す図である。また、図 10 は、第 2 実施形態においてアフォーカルレンズの光路中に配置された円錐アキシコン系および V 溝アキシコン系の構成を概略的に示す斜視図である。第 2 実施形態は、第 1 実施形態と類似の構成を有する。しかしながら、第 1 実施形態ではアフォーカルレンズ 5 の光路中に 2 つの V 溝アキシコン系が配置されているのに対し、第 2 実施形態では 1 つの円錐アキシコン系と 1 つの V 溝アキシコン系とが配置されている点が第 1 実施形態と基本的に相違している。以下、第 1 実施形態との相違点に着目して、第 2 実施形態を説明する。

【0079】第 2 実施形態では、図 10 に示すように、アフォーカルレンズ 5 の前側レンズ群 5a と後側レンズ群 5b との間の光路中に、光源側から順に、円錐アキシコン系 14 および V 溝アキシコン系 15 が配置されている。円錐アキシコン系 14 は、光源側から順に、光源側に平面を向け且つマスク側に凹円錐状の屈折面を向けた第 1 プリズム部材 14a と、マスク側に平面を向け且つ光源側に凸円錐状の屈折面を向けた第 2 プリズム部材 14b とから構成されている。

【0080】そして、第 1 プリズム部材 14a の凹円錐状の屈折面と第 2 プリズム部材 14b の凸円錐状の屈折面とは、互いに当接可能なように相補的に形成されている。また、第 1 プリズム部材 14a が光軸 AX に沿って移動可能に構成され、第 2 プリズム部材 14b が光軸 AX に沿って固定され、第 1 プリズム部材 14a の凹円錐状の屈折面と第 2 プリズム部材 14b の凸円錐状の屈折面との間隔が可変に構成されている。円錐アキシコン系 14 の間隔の変化は、制御系 21 からの指令に基づいて動作する駆動系 27 により行われる。

【0081】ここで、第 1 プリズム部材 14a の凹円錐状屈折面と第 2 プリズム部材 14b の凸円錐状屈折面とが互いに当接している状態では、円錐アキシコン系 14 は平行平板板として機能し、形成される 4 極状の二次光源に及ぼす影響はない。しかしながら、第 1 プリズム部材 14a の凹円錐状屈折面と第 2 プリズム部材 14b の凸円錐状屈折面とを離間させると、円錐アキシコン系 14 は、いわゆるビームエキスパンダーとして機能する。したがって、円錐アキシコン系 14 の間隔の変化に伴って、所定面 6 への入射光束の角度は変化する。

【0082】また、V溝アキシコン系15は、第1実施形態における第1V溝アキシコン系7と同様に、光源側に平面を向け且つマスク側に凹状で且つV字状の屈折面を向けた第1プリズム部材15aと、マスク側に平面を向け且つ光源側に凸状で且つV字状の屈折面を向けた第2プリズム部材15bとから構成されている。第1プリズム部材15aの凹状屈折面は2つの平面から構成され、その交線（稜線）はZ方向に沿って延びている。第2プリズム部材15bの凸状屈折面は、第1プリズム部材15aの凹状屈折面と互いに当接可能なように、換言すると第1プリズム部材15aの凹状屈折面と相補的に形成されている。

【0083】すなわち、第2プリズム部材15bの凸状屈折面も2つの平面から構成され、その交線（稜線）はZ方向に沿って延びている。また、第1プリズム部材15aが光軸AXに沿って固定され、第2プリズム部材15bが光軸AXに沿って移動可能に構成され、第1プリズム部材15aの凹状屈折面と第2プリズム部材15bの凸状屈折面との間隔が可変に構成されている。V溝アキシコン系15の間隔の変化は、制御系21からの指令に基づいて動作する駆動系28により行われる。

【0084】ここで、対向する凹状屈折面と凸状屈折面とが互いに当接している状態では、V溝アキシコン系15は平行平板として機能し、形成される4極状の二次光源に及ぼす影響はない。しかしながら、V溝アキシコン系15は、第1実施形態における第1V溝アキシコン系7と同様に、凹状屈折面と凸状屈折面とを離間させると、Z方向に沿って平行平板として機能するが、X方向に沿ってビームエキスパンダーとして機能する。なお、図9および図10では、V溝アキシコン系15が第1実施形態における第1V溝アキシコン系7と同じ構成を有するが、第2V溝アキシコン系8と同じ構成としてもよい。

【0085】図11は、第2実施形態の4極照明において形成される二次光源に対する円錐アキシコン系の作用を説明する図である。第2実施形態の4極照明では、円錐アキシコン系14の間隔を拡大させることにより、4極状の二次光源を構成する円形状の各面光源40a～40dが光軸AXを中心とした円の径方向に沿って外方へ移動するとともに、その形状が円形状から楕円形状に変化する。すなわち、変化前の円形状の各面光源40a～40dの中心点と変化後の楕円形状の各面光源41a～41dの中心点とを結ぶ線分は光軸AXを通り、中心点の移動距離は円錐アキシコン系14の間隔に依存する。

【0086】さらに、変化前の円形状の各面光源40a～40dを光軸AXから見込む角度（光軸AXから各面光源40a～40dへの一対の接線がなす角度）と、変化後の楕円形状の各面光源41a～41dを光軸AXから見込む角度とが等しい。そして、変化前の円形状の各面光源40a～40dの直径と、変化後の楕円形状の各面

光源41a～41dの光軸AXを中心とした円の径方向に沿った短径とが等しい。なお、変化後の楕円形状の各面光源41a～41dの光軸AXを中心とした円の周方向に沿った長径の大きさは、変化前の円形状の各面光源40a～40dの直径と円錐アキシコン系14の間隔とに依存する。

【0087】したがって、円錐アキシコン系14の間隔を零から所定の値まで拡大させると、4つの円形状の面光源から構成される4極状の二次光源が、4つの楕円形状の面光源から構成される4極状の二次光源に変化し、変化前の二次光源の幅を変化させることなく、その外径および輪帯比を変更することができる。ここで、4極状の二次光源の幅は、4つの面光源に外接する円の直径すなわち外径と4つの面光源に内接する円の直径すなわち内径との差の $1/2$ として規定される。また、4極状の二次光源の輪帯比は、外径に対する内径の比（内径／外径）として規定される。

【0088】以上のように、第2実施形態の4極照明では、1つのV溝アキシコン系15しか配置されていないので、4極状の二次光源を構成する円形状の各面光源の形状および大きさを維持したままその位置だけを二次元的に変化させることはできない。しかしながら、複数の4極照明用回折光学素子4aを選択的に用いるとともに、円錐アキシコン系14、V溝アキシコン系15、およびズームレンズ9の作用を利用することにより、光軸AXを中心とする円環状の領域において、各面光源の位置、形状および大きさを適宜変更することができる。

【0089】図12は、第2実施形態の輪帯照明において形成される二次光源に対する円錐アキシコン系の作用を説明する図である。第2実施形態の輪帯照明では、初期的に形成された輪帯状の二次光源60aが、円錐アキシコン系14の間隔を拡大させることにより、その幅（外径と内径との差の $1/2$ ：図中矢印で示す）が変化することなく、その外径および内径がともに拡大された輪帯状の二次光源60bに変化する。換言すると、輪帯状の二次光源は、円錐アキシコン系14の作用により、その幅が変化することなく、その輪帯比および大きさ（外径）がともに変化する。

【0090】しかしながら、実際には、光学設計上の制約により、円錐アキシコン系14による輪帯比の変更範囲には制限がある。そこで、第2実施形態では、輪帯照明用の回折光学素子4bとして、特性の異なる2種類の回折光学素子を備えている。すなわち、第2実施形態では、一方の輪帯照明用回折光学素子により、たとえば0.5～0.68の範囲で輪帯比を変更するのに適した形状を有する輪帯状の二次光源を形成する。また、他方の輪帯照明用回折光学素子により、たとえば0.68～0.8の範囲で輪帯比を変更するのに適した形状を有する輪帯状の二次光源を形成する。その結果、2種類の輪帯照明用回折光学素子の併用により、0.5～0.8の

範囲で輪帯比を変更することが可能になる。

【0091】以上のように、第2実施形態の輪帯照明では、1つのV溝アキシコン系15しか配置されていないので、輪帯状の二次光源から派生的に4極状の二次光源を得ることはできない。しかしながら、複数の輪帯照明用回折光学素子4bを選択的に用いるとともに、円錐アキシコン系14、V溝アキシコン系15、およびズームレンズ9の作用を利用することにより、輪帯状の二次光源の全体的な大きさおよび形状（輪帯比）、あるいは輪帯状の二次光源から派生的に得られる2極状の二次光源を構成する各面光源の位置、形状および大きさを適宜変更することができる。

【0092】さらに、第2実施形態の円形照明では、1つのV溝アキシコン系15しか配置されていないので、円形状の二次光源から派生的に4極状の二次光源を得ることはできない。しかしながら、複数の円形照明用回折光学素子4cを選択的に用いるとともに、円錐アキシコン系14、V溝アキシコン系15、およびズームレンズ9の作用を利用することにより、円形状の二次光源の全体的な大きさ、あるいは円形状の二次光源から派生的に得られる2極状の二次光源を構成する各面光源の位置、形状および大きさを適宜変更することができる。

【0093】図13は、本発明の第3実施形態にかかる照明光学装置を備えた露光装置の構成を概略的に示す図である。第3実施形態は、第1実施形態と類似の構成を有する。しかしながら、第3実施形態では、波面分割型のオプティカルインテグレータ（マイクロレンズアレイ10）に代えて、内面反射型のオプティカルインテグレータ（ロッド型インテグレータ70）を用いている点が第1実施形態と基本的に相違している。以下、第1実施形態との相違点に着目して、第3実施形態を説明する。

【0094】第3実施形態では、マイクロレンズアレイ10に代えてロッド型インテグレータ70を配置していることに対応して、回折光学素子4とロッド型インテグレータ70との間の光路中に、光源側から順に、ズームレンズ71、第2回折光学素子（またはマイクロレンズアレイ）72、およびインプットレンズ73を配置している。また、照明視野絞りとしてのマスクブラインド12は、ロッド型インテグレータ70の射出面の近傍に配置されている。

【0095】ここで、ズームレンズ71は、その前側焦点位置が回折光学素子4の位置とほぼ一致し且つその後側焦点位置が第2回折光学素子72の位置とほぼ一致するように配置されている。なお、ズームレンズ71の焦点距離の変化は、制御系21からの指令に基づいて動作する駆動系29により行われる。また、インプットレンズ73は、その前側焦点位置が第2回折光学素子72の位置とほぼ一致し且つその後側焦点位置がロッド型インテグレータ70の入射面の位置とほぼ一致するように配置されている。

【0096】ロッド型インテグレータ70は、石英ガラスや蛍石のような硝子材料からなる内面反射型のガラスロッドであり、内部と外部との境界面すなわち内面での全反射を利用して集光点を通りロッド入射面に平行な面に沿って内面反射数に応じた数の光源像を形成する。ここで、形成される光源像のほとんどは虚像であるが、中心（集光点）の光源像のみが実像となる。すなわち、ロッド型インテグレータ70に入射した光束は内面反射により角度方向に分割され、集光点を通りその入射面に平行な面に沿って多数の光源像からなる二次光源が形成される。

【0097】したがって、第3実施形態の4極照明（輪帯照明または円形照明）では、照明光路に選択的に設置された回折光学素子4a（4bまたは4c）を通過した光束が、ズームレンズ71を介して、第2回折光学素子72上に4極状（輪帯状または円形状）の照野を形成する。第2回折光学素子72を通過した光束は、インプットレンズ73を介して、ロッド型インテグレータ70の入射面の近傍に集光する。図14は、第3実施形態における第2回折光学素子の作用を説明する図である。

【0098】図14（a）に示すように、第2回折光学素子72が配置されていない場合、ズームレンズ71およびインプットレンズ73を介した光束が、ロッド型インテグレータ70の入射面70a上においてほぼ一点に集光する。その結果、ロッド型インテグレータ70によりその入射側に形成される多数の光源が非常に散逸的になり（二次光源全体に対する各光源の充填率が小さくなり）、実質的な面光源を得ることができなくなってしまう。

【0099】そこで、第3実施形態では、光束発散素子としての第2回折光学素子72をインプットレンズ73の前側焦点位置の近傍に配置している。こうして、図14（b）に示すように、第2回折光学素子72を介して発散された光束が、インプットレンズ73を介して、ロッド型インテグレータ70の入射面70a上において所定の広がりをもって集光する。その結果、ロッド型インテグレータ70によりその入射側に形成される多数の光源が非常に密実になり（二次光源全体に対する各光源の充填率が大きくなり）、実質的な面光源としての二次光源を得ることができる。

【0100】ロッド型インテグレータ70によりその入射側に形成された4極状（輪帯状または円形状）の二次光源からの光束は、その射出面において重畳された後、マスクブラインド12および結像光学系13を介して、所定のパターンが形成されたマスクMを照明する。なお、第3実施形態では、ズームレンズ71の前側レンズ群71aと後側レンズ群71bとの間の光路中に、光源側から順に、第1V溝アキシコン系7および第2V溝アキシコン系8が配置されている。

【0101】したがって、第3実施形態の4極照明にお

いても第1実施形態と同様に、複数の4極照明用回折光学素子4aを選択的に用いるとともに、第1V溝アキシコン系7、第2V溝アキシコン系8、およびズームレンズ71の作用を利用することにより、光軸AXを中心とする円環状の領域において、輪帯状の二次光源を構成する各面光源の位置、形状および大きさを適宜変更することができる。

【0102】また、第3実施形態の輪帯照明においても第1実施形態と同様に、複数の輪帯照明用回折光学素子4bを選択的に用いるとともに、第1V溝アキシコン系7、第2V溝アキシコン系8、およびズームレンズ71の作用を利用することにより、輪帯状の二次光源の全体的な大きさおよび形状（輪帯比）、あるいは輪帯状の二次光源から派生的に得られる2極状の二次光源または4極状の二次光源を構成する各面光源の位置、形状および大きさを適宜変更することができる。

【0103】さらに、第3実施形態の円形照明においても第1実施形態と同様に、複数の円形照明用回折光学素子4cを選択的に用いるとともに、第1V溝アキシコン系7、第2V溝アキシコン系8、およびズームレンズ71の作用を利用することにより、円形状の二次光源の全体的な大きさ、あるいは円形状の二次光源から派生的に得られる2極状の二次光源または4極状の二次光源を構成する各面光源の位置、形状および大きさを適宜変更することができる。

【0104】なお、図示を省略したが、第2実施形態における波面分割型のオプティカルインテグレータ（マイクロレンズアレイ10）に代えて、内面反射型のオプティカルインテグレータ（ロッド型インテグレータ70）を用いる第4実施形態も可能である。この場合、回折光学素子4とロッド型インテグレータ70との間の光路中に、光源側から順に、ズームレンズ71、第2回折光学素子（またはマイクロレンズアレイ）72、およびインプットレンズ73を配置する点は第3実施形態と同様である。こうして、第4実施形態では、円錐アキシコン系14、V溝アキシコン系15、およびズームレンズ71の作用を利用することにより、第2実施形態と同様に多様な4極照明、輪帯照明、および円形照明を行うことができる。

【0105】以上のように、第1実施形態～第4実施形態において、V溝アキシコン系（7、8または15）の間隔を変化させることにより、二次光源の全体的な大きさおよび形状がX方向またはZ方向に変化する。その結果、マスクM上の直交する二方向（X方向およびY方向）で互いに異なる照明条件を実現することができ、ひいてはパターンに方向性があるマスクM上の直交する二方向で最適な照明条件を設定することができる。

【0106】なお、一対のV溝アキシコン系7および8だけを備えた第1実施形態および第3実施形態は、メモリー（DRAMなど）のリソグラフィ工程に特に好適

である。また、円錐アキシコン系14と1つのV溝アキシコン系15とだけを備えた第2実施形態および第4実施形態は、ロジックデバイス（MPUなど）のリソグラフィ工程に特に好適である。さらに、円錐アキシコン系と一対のV溝アキシコン系とを備えた変形例も可能であり、この変形例は半導体デバイスを含む一般的なマイクロデバイスのリソグラフィ工程に好適である。

【0107】次に、各実施形態における本発明の特徴的な構成および作用についてさらに詳細に説明する。まず、第1実施形態（第3実施形態でも同様）では、第1V溝アキシコン系7（第1アキシコン系）は、光源側から順に、光軸AXに沿って移動可能に構成された第1プリズム部材7aと、光軸AXに沿って固定された第2プリズム部材7bとから構成されている。また、第2V溝アキシコン系8（第2アキシコン系）は、光源側から順に、光軸AXに沿って固定された第1プリズム部材8aと、光軸AXに沿って移動可能に構成された第2プリズム部材8bとから構成されている。

【0108】このように、第1実施形態では、第1V溝アキシコン系7および第2V溝アキシコン系8を構成する4つのプリズム部材（7a、7b、8a、8b）のうち、外側に配置された2つのプリズム部材（7a、8b）が光軸AXに沿って移動可能に構成され、内側に配置された2つのプリズム部材（7b、8a）が光軸AXに沿って固定されている。その結果、第1実施形態では、第1プリズム部材7aを光軸AXに沿って移動させるための第1移動機構（不図示）と、第2プリズム部材8bを光軸AXに沿って移動させるための第2移動機構（不図示）との間隔が十分に大きく確保されるので、移動機構同士の機械的な干渉を確実に回避することができ、ひいてはコンパクトな全体構成を実現することができる。

【0109】また、第2実施形態（第4実施形態でも同様）においても、円錐アキシコン系14（第1アキシコン系）は、光源側から順に、光軸AXに沿って移動可能に構成された第1プリズム部材14aと、光軸AXに沿って固定された第2プリズム部材14bとから構成されている。また、V溝アキシコン系15（第2アキシコン系）は、光源側から順に、光軸AXに沿って固定された第1プリズム部材15aと、光軸AXに沿って移動可能に構成された第2プリズム部材15bとから構成されている。

【0110】このように、第2実施形態では、円錐アキシコン系14およびV溝アキシコン系15を構成する4つのプリズム部材（14a、14b、15a、15b）のうち、外側に配置された2つのプリズム部材（14a、15b）が光軸AXに沿って移動可能に構成され、内側に配置された2つのプリズム部材（14b、15a）が光軸AXに沿って固定されている。その結果、第2実施形態においても、第1プリズム部材14aを光軸

A Xに沿って移動させるための第1移動機構（不図示）と、第2プリズム部材15bを光軸A Xに沿って移動させるための第2移動機構（不図示）との間隔が十分に大きく確保されるので、移動機構同士の機械的な干渉を確実に回避することができ、ひいてはコンパクトな全体構成を実現することができる。

【0111】なお、第1実施形態では、図15に示すように、第1V溝アキシコン系7および第2V溝アキシコン系8を構成する4つのプリズム部材（7a, 7b, 8a, 8b）のうち、光軸A Xに沿って固定された内側の2つのプリズム部材（7b, 8a）を一体的に1つのプリズム部材7a8bとして形成することが好ましい。この構成により、第1V溝アキシコン系7および第2V溝アキシコン系8における光の透過率を向上させるとともに、プリズム部材の製造誤差および位置決め誤差を抑えることができ、ひいては高精度で高性能なアキシコン系を実現することができる。同様に、図示を省略したが、第2実施形態における円錐アキシコン系14およびV溝アキシコン系15を構成する4つのプリズム部材（14a, 14b, 15a, 15b）のうち、光軸A Xに沿って固定された内側の2つのプリズム部材（14b, 15a）を一体的に1つのプリズム部材として形成することが好ましい。

【0112】図16は、円錐アキシコン系およびV溝アキシコン系の一般的な光学作用を説明する図である。また、図17は、円錐アキシコン系の円錐状屈折面の頂点に対応して形成される円形状の影領域およびV溝アキシコン系のV字状屈折面の稜線に対応して形成される直線状の影領域を示す図である。図16を参照すると、光軸A Xに対して平行に円錐アキシコン系またはV溝アキシコン系の第1プリズム部材に入射した光線は、その屈折作用により光軸A Xに対して角度 α をなして光軸A Xから離れる方向に射出され、第2プリズム部材に入射する。

【0113】第2プリズム部材に入射した光線は、その屈折作用を受けた後、光軸A Xに対して平行に射出される。このとき、第2プリズム部材から光軸A Xに対して平行に射出される光線の光軸A Xからの高さ h_2 と、光軸A Xに対して平行に第1プリズム部材へ入射する光線の光軸A Xからの高さ h_1 との差は $\Delta h (= h_2 - h_1)$ となる。角度 α （単位：度）は、次の式（1）で表される。

$$\begin{aligned} \alpha &= \sin^{-1} \{ n \times \sin(90 - \theta) \} + \theta - 90 \\ &= \sin^{-1} (n \times \cos \theta) + \theta - 90 \quad (1) \end{aligned}$$

【0114】ここで、 n は、アキシコン系の第1プリズム部材および第2プリズム部材を形成する光学材料の露光光に対する屈折率である。なお、各実施形態において光源1としてArFエキシマレーザー光源（波長193nm）を用いる場合、さらに一般的には例えば200nm

m以下の波長を有する光を供給する光源を用いる場合、蛍石（CaF₂）を用いて各アキシコン系（7, 8, 14, 15）を形成することにより、レーザー光に対する耐久性を向上させることができる。

【0115】一方、 Δh は、次の式（2）で表される。

$$\Delta h = A \times L \quad (2)$$

ただし、

$$A = (\tan \alpha \times \tan \theta) / (\tan \theta - \tan \alpha)$$

【0116】ここで、 L は、各アキシコン系における第1プリズム部材の屈折面と第2プリズム部材の屈折面との光軸A Xに沿った間隔（図16を参照）である。さらに、 2θ は、円錐アキシコン系における円錐状屈折面の頂角またはV溝アキシコン系におけるV字状屈折面の交差角である。

【0117】ところで、第1実施形態の円形照明において、第1V溝アキシコン系7の第1プリズム部材7aの屈折面と第2プリズム部材7bの屈折面との間隔および第2V溝アキシコン系8の第1プリズム部材8aの屈折面と第2プリズム部材8bの屈折面との間隔がともに所定の間隔に設定された場合、マイクロレンズアレイ10の後側焦点面に形成される円形状の二次光源には、図17(a)に示すように、第1V溝アキシコン系7および第2V溝アキシコン系8のV字状屈折面の稜線に対応して十字状の影領域（図中、空白領域で示す）が形成される。

【0118】また、第2実施形態の円形照明において、円錐アキシコン系14の第1プリズム部材14aの屈折面と第2プリズム部材14bの屈折面との間隔が所定の間隔に設定された場合、マイクロレンズアレイ10の後側焦点面に形成される円形状の二次光源には、図17(b)に示すように、円錐アキシコン系14の円錐状屈折面の頂点に対応して円形状の影領域（図中、空白領域で示す）が形成される。

【0119】この場合、マイクロレンズアレイ10の後側焦点面に形成される円形状の二次光源の直径 D_1 は、次の式（3）で表される。また、十字状の影領域を構成する直線状の影領域の幅 D_2 および円形状の影領域の直径 D_2 は、次の式（4）で表される。

【数2】

$$D_1 = 2 \times f_3 \times (f_1 \times \sin \psi_{\max}) / f_2 \quad (3)$$

$$\begin{aligned} D_2 &= 2 \times \Delta h \times f_3 / f_2 \\ &= 2 \times A \times L \times f_3 / f_2 \quad (4) \end{aligned}$$

【0120】ここで、 ψ_{\max} は、光束変換素子としての回折光学素子4の最大回折角である。また、 f_1 は、アフォーカルレンズ（第1光学系）5の前側レンズ群（第1レンズ群）5aの焦点距離である。さらに、 f_2 は、アフォーカルレンズ5の後側レンズ群（第2レンズ群）5bの焦点距離である。また、 f_3 は、ズームレンズ（第2光学系）9の焦点距離である。

【0121】式（4）を参照すると、第1プリズム部材

の屈折面と第2プリズム部材の屈折面との間隔Lを零にすることにより、すなわち第1プリズム部材の屈折面と第2プリズム部材の屈折面とを当接させることにより、十字状の影領域や円形状の影領域の発生を回避できることがわかる。しかしながら、円錐アキシコン系14の第1プリズム部材14aの円錐状の凹状屈折面の頂点部分およびV溝アキシコン系(7, 8)の第1プリズム部材のV字状の凹状屈折面の稜線部分を所望の面精度で理想形状に形成することは困難である。また、第1プリズム部材の屈折面と第2プリズム部材の屈折面とを当接させると、円錐アキシコン系14の第2プリズム部材14bの円錐状の凸状屈折面の頂点部分およびV溝アキシコン系(7, 8)の第2プリズム部材のV字状の凸状屈折面の稜線部分が破損し易い。

【0122】そこで、実際には、第1プリズム部材の屈折面と第2プリズム部材の屈折面とを当接させることは不可能であり、第1プリズム部材の屈折面と第2プリズム部材の屈折面との間隔Lが所定の値よりも小さくすることはできない。その結果、円形状の二次光源において*

$$2 \times A \times L \times f_3 / f_2 \leq 2 \times f_3 \times (f_1 \times \sin \psi_{\max}) / (10 \times f_2) \quad (5)$$

$$A \times L \leq (f_1 \times \sin \psi_{\max}) / 10 \quad (6)$$

【0124】上述したように、V溝アキシコン系(7, 8)の第1プリズム部材のV字状の凹状屈折面の稜線部分を所望の面精度で理想形状に形成することは困難である。その結果、第1プリズム部材の屈折面と第2プリズム部材の屈折面との間隔Lを所定の値よりも小さくすることができず、円形状の二次光源において十字状の影領域が発生する。そこで、第1プリズム部材の屈折面と第2プリズム部材の屈折面との最小間隔をできるだけ小さくし、ひいては円形状の二次光源において形成される十字状の影領域の幅D2をできるだけ小さくするには、図18に示すように、光軸AXと屈折面の稜線とを含む面(図中、光軸AXを含んで紙面に垂直な面)に沿って分割された2つのプリズム部材81および82によって第1プリズム83を構成するのが有効である。

【0125】この場合、たとえば分割プリズム部材81の光軸AXに沿った面81aに対向する外側端面81bに保持機構の固定支持面84を当接させるとともに、分割プリズム部材82の光軸AXに沿った面82aに対向する外側端面82bに保持機構の可動支持面85を当接させながら矢印Fに沿って付勢する。こうして、分割プリズム部材81の面81aと分割プリズム部材82の面82aとは、接着剤などを介することなく、いわゆる面タッチ状態で姿勢保持される。

【0126】ところで、円錐アキシコン系における円錐状屈折面の頂角 2θ (単位:度)またはV溝アキシコン系におけるV字状屈折面の交差角 2θ は、理論的には90度よりも大きく且つ180度よりも小さいが、実際には以下の条件式(7)を満足することが好ましい。

$$120 < 2\theta < 160 \quad (7)$$

* 十字状の影領域や円形状の影領域の発生が不可避である。この場合、特に小 σ の円形照明を行うと、マイクロレンズアレイ10の後側焦点面に形成される円形状の二次光源の直径D1が小さくなるので、十字状の影領域や円形状の影領域が二次光源を占める割合が大きくなり、ひいては照明瞳における光強度分布に与える影響が大きくなる。したがって、十字状の影領域の幅D2や円形状の影領域の直径D2をできるだけ小さく抑えることが必要である。

【0123】具体的には、十字状の影領域や円形状の影領域の影響を実質的に受けることなく照明瞳において所望の光強度分布を得るには、十字状の影領域の幅D2や円形状の影領域の直径D2をマイクロレンズアレイ10の後側焦点面に形成される円形状の二次光源の直径D1の1/10以下に抑えること、すなわち $D1 \leq D2/10$ の条件を満足することが必要である。 $D1 \leq D2/10$ の条件は、具体的には式(3)および(4)を参照すると、次の式(5)で表され、最終的には式(6)で表される。

$$(6)$$

【0127】条件式(7)の下限値を下回ると、同じ Δh を発生させるのに必要な間隔Lが小さ過ぎて、 Δh の高精度な制御が困難になるので不都合である。また、条件式(7)の上限値を上回ると、同じ Δh を発生させるのに必要な間隔Lが大き過ぎて、アキシコン系の大型化を、ひいては装置の大型化を招くので不都合である。このように、アキシコン系における頂角 2θ または交差角 2θ について制約があり、且つアキシコン系における屈折面の間隔Lについても制約がある。したがって、特に4極照明において、V溝アキシコン系による各面光源の移動比率(すなわち移動先の面光源の座標位置に対する移動元の面光源の座標位置)には光学設計上の制約があり、各面光源の移動範囲には制限がある。

【0128】そこで、第1実施形態では、4つの面光源の中心点を結んで形成される四角形が細長い長方形になるような4極状の二次光源を初期的に形成し、第1V溝アキシコン系7および第2V溝アキシコン系8の作用により、さらに多様な4極照明を行うことができる。具体的には、第1実施形態では、図5に示すように、第1の4極照明用回折光学素子により、4つの面光源の中心点を結んで形成される四角形が正方形になるような4極状の二次光源を初期的に形成し、第1V溝アキシコン系7および第2V溝アキシコン系8の作用により、各面光源をその形状および大きさを維持したままZ方向およびX方向に沿って光軸AXを挟んで対称に移動させる。

【0129】これに加えて、第1実施形態では、図19(a)に示すように、第2の4極照明用回折光学素子により、4つの面光源の中心点を結んで形成される四角形がX方向に沿って細長い長方形になるような4極状の二

次光源を形成する。また、第1実施形態では、図19 (b) に示すように、第3の4極照明用回折光学素子により、4つの面光源の中心点を結んで形成される四角形がZ方向に沿って細長い長方形になるような4極状の二次光源を形成する。そして、第1V溝アキシコン系7および第2V溝アキシコン系8の作用により、図中矢印で示すように、各面光源をその形状および大きさを維持したままZ方向およびX方向に沿って光軸AXを挟んで対称に移動させる。

【0130】上述の各実施形態にかかる露光装置では、照明光学装置によってマスク（レチクル）を照明し（照明工程）、投影光学系を用いてマスクに形成された転写用のパターンを感光性基板に露光する（露光工程）ことにより、マイクロデバイス（半導体素子、撮像素子、液晶表示素子、薄膜磁気ヘッド等）を製造することができる。以下、上述の各実施形態の露光装置を用いて感光性基板としてのウェハ等に所定の回路パターンを形成することによって、マイクロデバイスとしての半導体デバイスを得る際の手法の一例につき図20のフローチャートを参照して説明する。

【0131】まず、図20のステップ301において、1ロットのウェハ上に金属膜が蒸着される。次のステップ302において、その1ロットのウェハ上の金属膜上にフォトリソグが塗布される。その後、ステップ303において、上述の各実施形態の露光装置を用いて、マスク上のパターンの像がその投影光学系を介して、その1ロットのウェハ上の各ショット領域に順次露光転写される。その後、ステップ304において、その1ロットのウェハ上のフォトリソグの現像が行われた後、ステップ305において、その1ロットのウェハ上でレジストパターンをマスクとしてエッチングを行うことによって、マスク上のパターンに対応する回路パターンが、各ウェハ上の各ショット領域に形成される。その後、更に上のレイヤの回路パターンの形成等を行うことによって、半導体素子等のデバイスが製造される。上述の半導体デバイス製造方法によれば、極めて微細な回路パターンを有する半導体デバイスをスループット良く得ることができる。

【0132】また、上述の各実施形態の露光装置では、プレート（ガラス基板）上に所定のパターン（回路パターン、電極パターン等）を形成することによって、マイクロデバイスとしての液晶表示素子を得ることもできる。以下、図21のフローチャートを参照して、このときの手法の一例につき説明する。図21において、パターン形成工程401では、上述の各実施形態の露光装置を用いてマスクのパターンを感光性基板（レジストが塗布されたガラス基板等）に転写露光する、所謂光リソグラフィ工程が実行される。この光リソグラフィ工程によって、感光性基板上には多数の電極等を含む所定パターンが形成される。その後、露光された基板は、現像

工程、エッチング工程、レジスト剥離工程等の各工程を経ることによって、基板上に所定のパターンが形成され、次のカラーフィルター形成工程402へ移行する。

【0133】次に、カラーフィルター形成工程402では、R（Red）、G（Green）、B（Blue）に対応した3つのドットの組がマトリックス状に多数配列されたり、またはR、G、Bの3本のストライプのフィルターの組を複数水平走査線方向に配列したカラーフィルターを形成する。そして、カラーフィルター形成工程402の後に、セル組み立て工程403が実行される。セル組み立て工程403では、パターン形成工程401にて得られた所定パターンを有する基板、およびカラーフィルター形成工程402にて得られたカラーフィルター等を用いて液晶パネル（液晶セル）を組み立てる。セル組み立て工程403では、例えば、パターン形成工程401にて得られた所定パターンを有する基板とカラーフィルター形成工程402にて得られたカラーフィルターとの間に液晶を注入して、液晶パネル（液晶セル）を製造する。

【0134】その後、モジュール組み立て工程404にて、組み立てられた液晶パネル（液晶セル）の表示動作を行わせる電気回路、バックライト等の各部品を取り付けて液晶表示素子として完成させる。上述の液晶表示素子の製造方法によれば、極めて微細な回路パターンを有する液晶表示素子をスループット良く得ることができる。

【0135】なお、上述の各実施形態では、変形照明において4極状や輪帯状の二次光源を例示的に形成しているが、光軸に対して偏心した2つの面光源からなる2極状の二次光源や、光軸に対して偏心した8つの面光源からなる8極状の二次光源のような、いわゆる複数極状あるいは多極状の二次光源を形成することもできる。

【0136】また、上述の各実施形態では、照明光学装置を備えた投影露光装置を例にとって本発明を説明したが、マスク以外の被照射面を照明するための一般的な照明光学装置に本発明を適用することができることは明らかである。

【0137】

【発明の効果】以上説明したように、本発明の照明光学装置では、アキシコン系の作用により4極状や輪帯状の二次光源を適宜変化させて、被照射面上の直交する二方向で互いに異なる照明条件を実現することができる。したがって、被照射面上の直交する二方向で互いに異なる照明条件を実現することのできる本発明の照明光学装置を組み込んだ露光装置および露光方法では、パターンに方向性があるマスク上の直交する二方向で最適な照明条件を設定することができ、良好な照明条件のもとで良好なマイクロデバイスを製造することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1実施形態にかかる照明光学装置を備えた露光装置の構成を概略的に示す図である。

【図 2】マイクロレンズアレイの後側焦点面に形成される 4 極状の二次光源の構成を概略的に示す図である。

【図 3】第 1 実施形態においてアフォーカルレンズの前側レンズ群と後側レンズ群との間の光路中に配置された 2 つのアキシコン系の構成を概略的に示す斜視図である。

【図 4】第 1 実施形態の 4 極照明において形成される二次光源に対するズームレンズの作用を説明する図である。

【図 5】第 1 実施形態の 4 極照明において形成される二次光源に対する第 1 V 溝アキシコン系および第 2 V 溝アキシコン系の作用を説明する図である。

【図 6】第 1 実施形態の輪帯照明において形成される二次光源に対するズームレンズの作用を説明する図である。

【図 7】第 1 実施形態の輪帯照明において形成される二次光源に対する第 1 V 溝アキシコン系および第 2 V 溝アキシコン系の作用を説明する図である。

【図 8】第 1 実施形態の円形照明において形成される二次光源に対する第 1 V 溝アキシコン系および第 2 V 溝アキシコン系の作用を説明する図である。

【図 9】本発明の第 2 実施形態にかかる照明光学装置を備えた露光装置の構成を概略的に示す図である。第 2 実施形態においてアフォーカルレンズの光路中に配置された円錐アキシコン系および V 溝アキシコン系の構成を概略的に示す斜視図である。

【図 10】第 2 実施形態においてアフォーカルレンズの光路中に配置された円錐アキシコン系および V 溝アキシコン系の構成を概略的に示す斜視図である。

【図 11】第 2 実施形態の 4 極照明において形成される二次光源に対する円錐アキシコン系の作用を説明する図である。

【図 12】第 2 実施形態の輪帯照明において形成される二次光源に対する円錐アキシコン系の作用を説明する図である。

【図 13】本発明の第 3 実施形態にかかる照明光学装置を備えた露光装置の構成を概略的に示す図である。

【図 14】第 3 実施形態における第 2 回折光学素子の作用を説明する図である。

【図 15】2 つのアキシコン系を構成する 4 つのプリズ

ム部材のうち、光軸に沿って固定された内側の 2 つのプリズム部材を一体的に形成した構成を概略的に示す斜視図である。

【図 16】円錐アキシコン系および V 溝アキシコン系の一般的な光学作用を説明する図である。

【図 17】円錐アキシコン系の円錐状屈折面の頂点に対応して形成される円形状の影領域および V 溝アキシコン系の V 字状屈折面の稜線に対応して形成される直線状の影領域を示す図である。

【図 18】稜線に沿って分割された 2 つのプリズム部材で V 溝アキシコン系の第 1 プリズムを構成した例を示す図である。

【図 19】4 つの面光源の中心点を結んで形成される四角形が細長い長方形になるような 4 極状の二次光源を初期的に形成する例を示す図である。

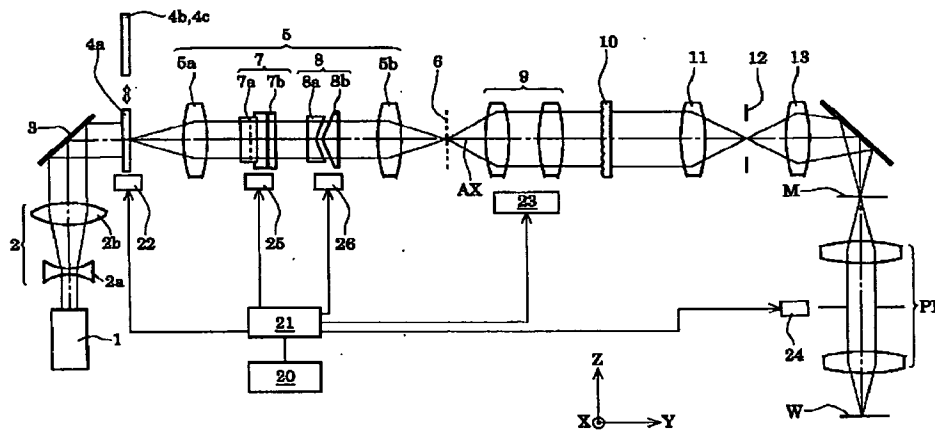
【図 20】マイクロデバイスとしての半導体デバイスを得る際の手法のフローチャートである。

【図 21】マイクロデバイスとしての液晶表示素子を得る際の手法のフローチャートである。

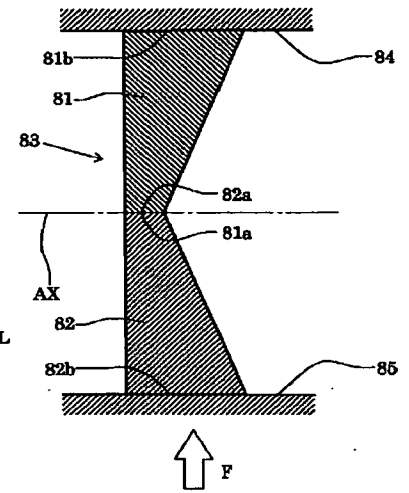
【符号の説明】

- 1 光源
- 4 回折光学素子
- 5 アフォーカルレンズ
- 7, 8, 16 V 溝アキシコン系
- 9 ズームレンズ
- 10 マイクロレンズアレイ
- 11 コンデンサー光学系
- 12 マスクブラインド
- 13 結像光学系
- 14 円錐アキシコン系
- 70 ロッド型インテグレータ
- 71 ズームレンズ
- 73 インพุットレンズ
- M マスク
- PL 投影光学系
- W ウェハ
- 20 入力手段
- 21 制御系
- 22~29 駆動系

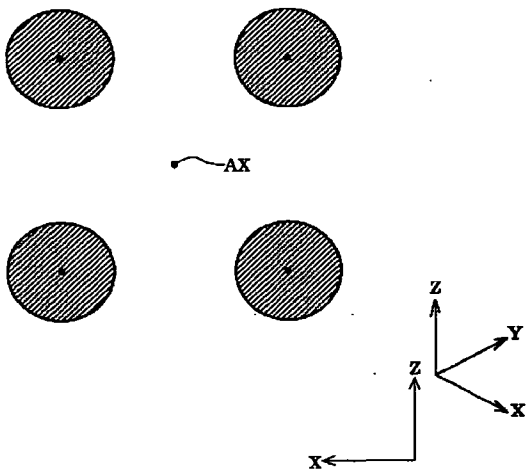
【図1】



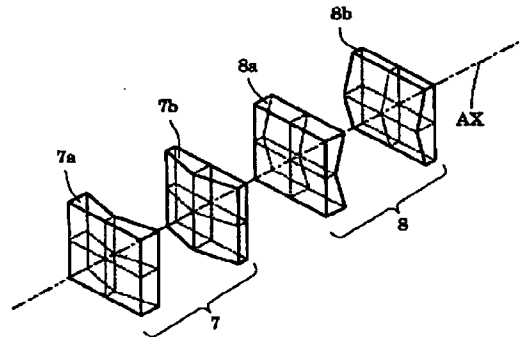
【図18】



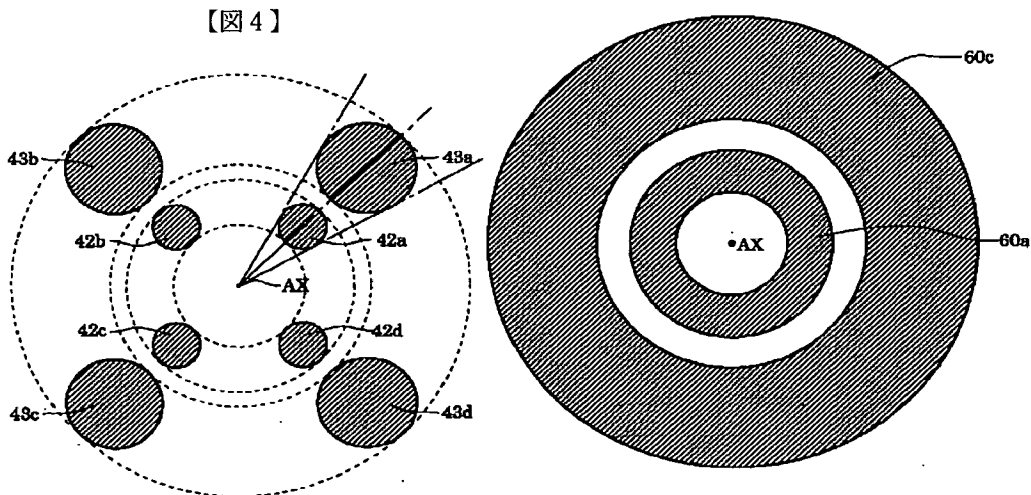
【図2】



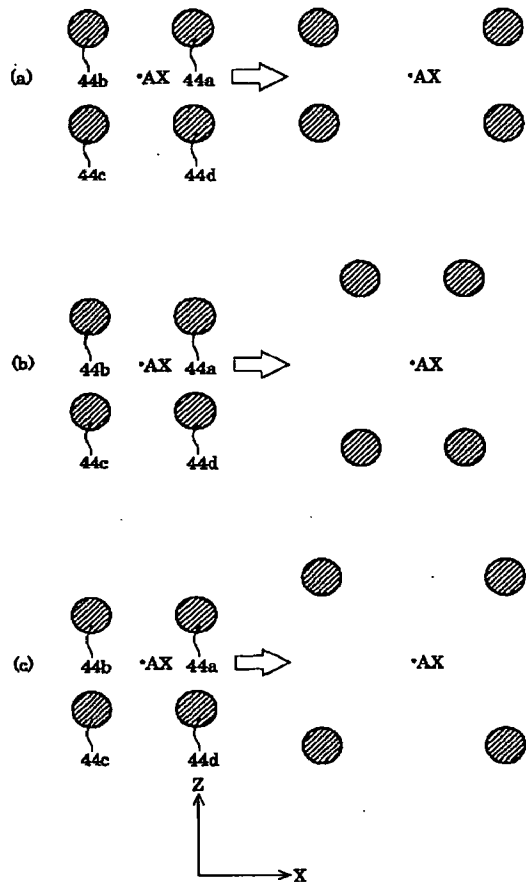
【図3】



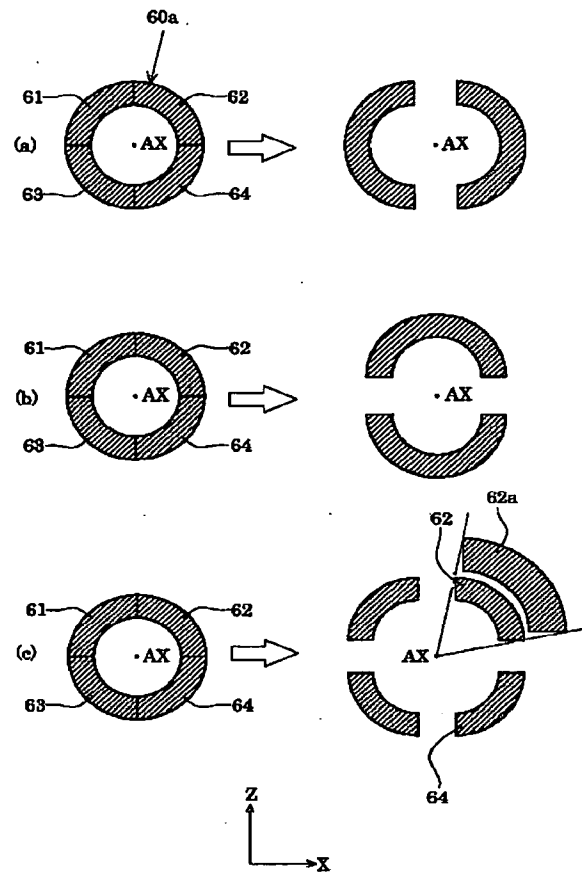
【図6】



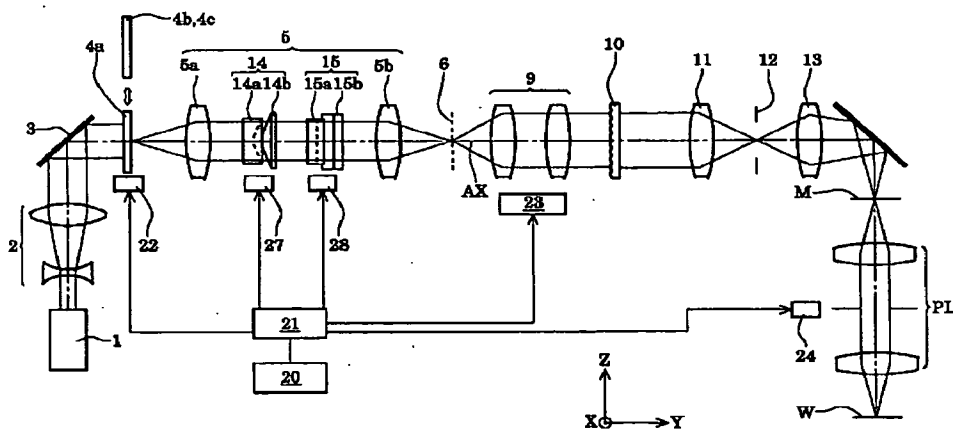
【図5】



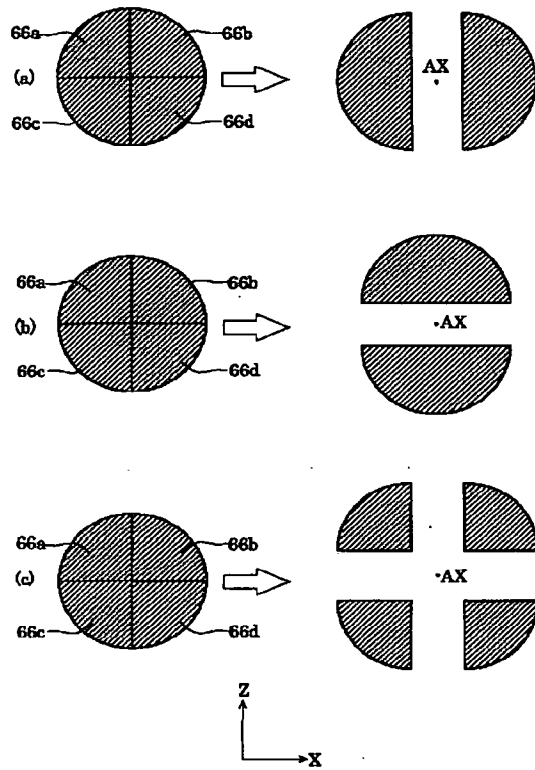
【図7】



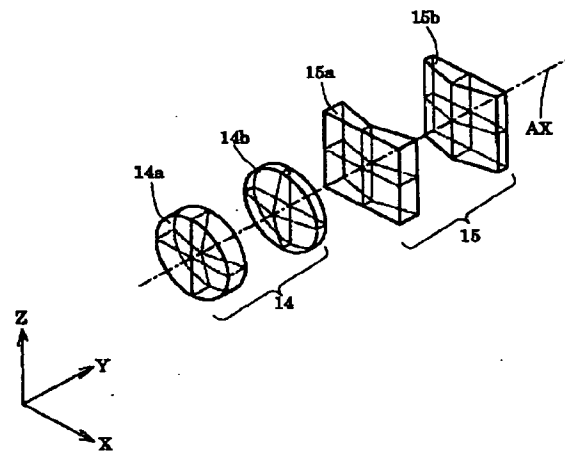
【図9】



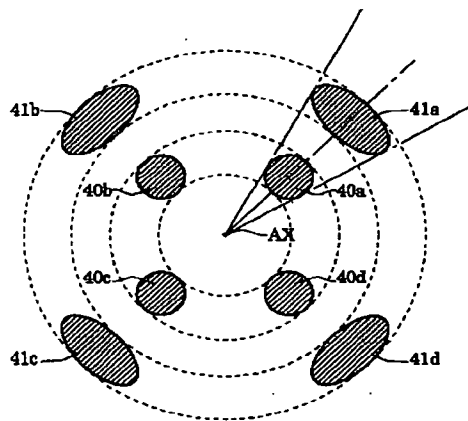
【図8】



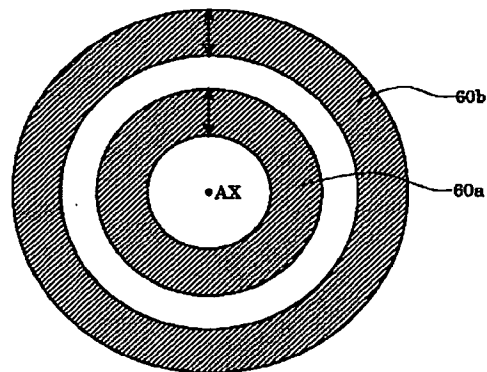
【図10】



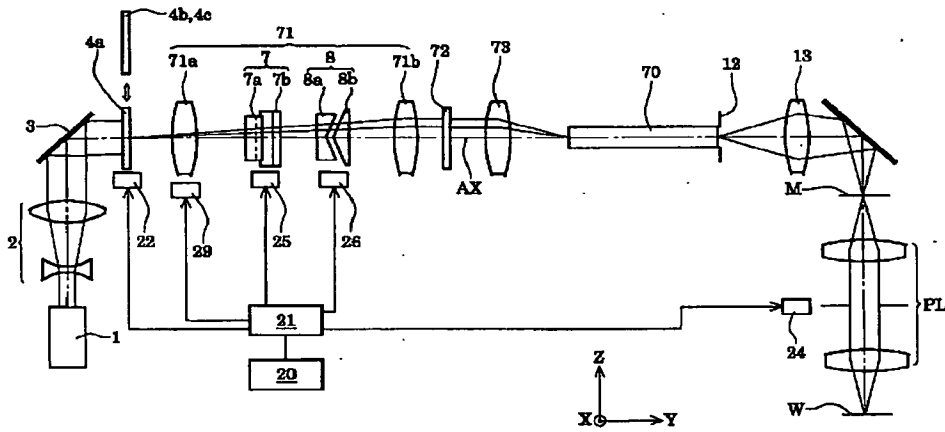
【図11】



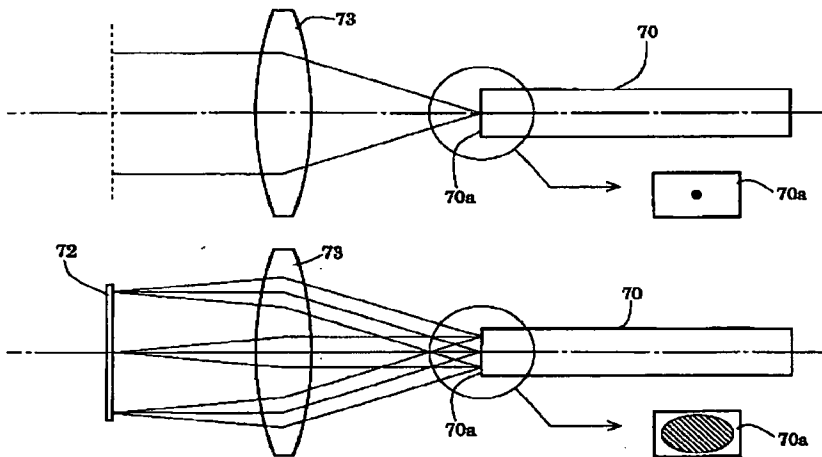
【図12】



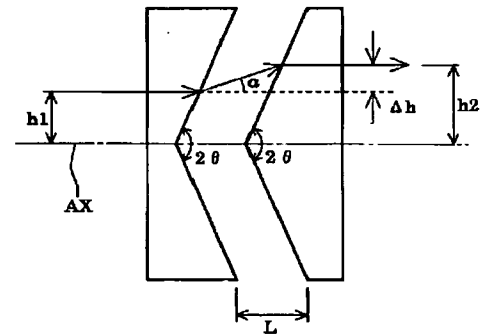
【図13】



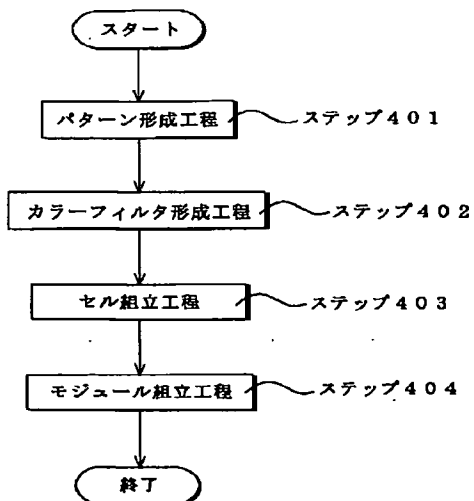
【図14】



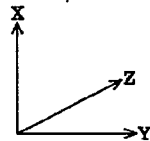
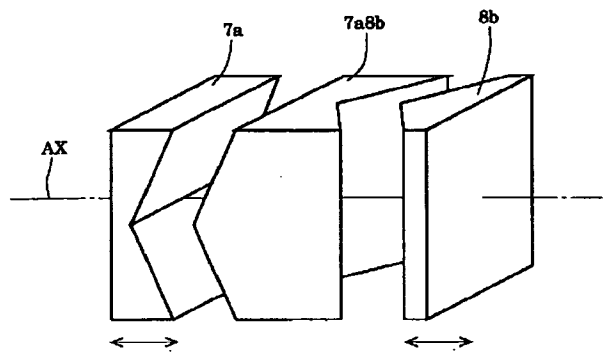
【図16】



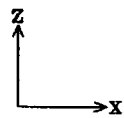
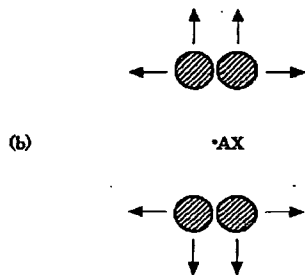
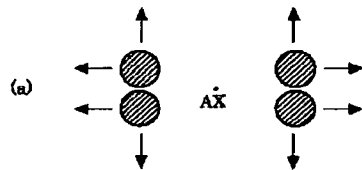
【図21】



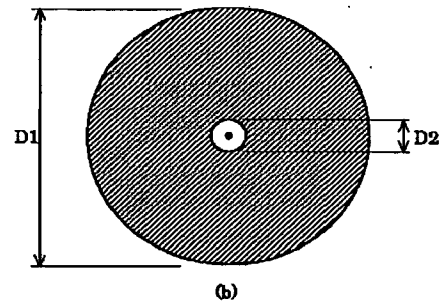
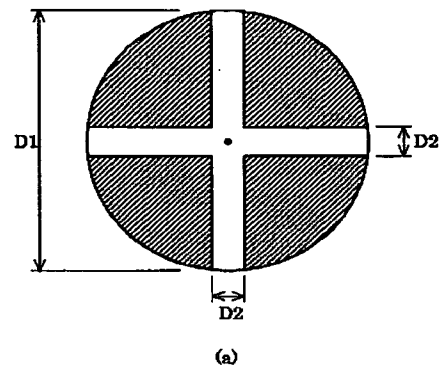
【図15】



【図19】



【図17】



【図20】

